

LANDBOUWPROEFSTATION EN BODEMKUNDIG INSTITUUT T.N.O., GRONINGEN

ONDERZOEK NAAR  
HET VERSCHIJNSEL DER KALIFIXATIE  
IN DE NEDERLANDSE GRONDEN

WITH A SUMMARY  
POTASSIUM FIXATION IN THE DUTCH SOILS

H. W. VAN DER MAREL  
MET MEDEWERKING VAN  
J. T. N. VENEKAMP



STAATSDRUKKERIJ

UITGEVERIJBEDRIJF

---

VERSL. LANDBOUWK. ONDERZ. No 61.8 - 'S-GRAVENHAGE - 1955

# INHOUD <sup>1</sup>

I. INLEIDING . . . . .	3
II. DE BEPALING VAN DE HOEVEELHEID KALIUM WELKE DOOR EEN GROND WORDT GEFIXEERD . . . . .	4
III. DE HOEVEELHEID KALIUM WELKE DOOR VERSCHILLENDE GRONDEN WORDT GEFIXEERD, BEPAALD VOLGENS DE NATTE EN DE DROGE KALIFIXATIEMETHODE . . . . .	8
1. De hoeveelheid kalium welke wordt gefixeerd volgens de natte t.o.v. die welke wordt gefixeerd volgens de droge kalifixatiemethode . . . . .	8
2. De hoeveelheid kalium welke wordt gefixeerd volgens de natte en de droge kalifixatiemethode t.o.v. de hoeveelheid fractie $< 2\mu$ in de grond . . . . .	11
3. De hoeveelheid uitwisselbaar en in 0,1 N HCL oplosbaar kalium t.o.v. de hoeveelheid kalium welke wordt gefixeerd volgens de natte en de droge kalifixatiemethode . . . . .	12
4. De natte en de droge kalifixatie t.o.v. de hoeveelheid uitwisselbaar kalium in procenten van de totale hoeveelheid uitwisselbare kationen . . . . .	14
5. De natte en de droge kalifixatie t.o.v. de hoeveelheid uitwisselbaar kalium in procenten van de kationenwaarde . . . . .	15
IV. DE HOEVEELHEID KALIUM WELKE DOOR DE GROND UIT DE TOEGEDIENDE BEMESTING IS OPGENOMEN . . . . .	18
1. Uitwisselbaar kalium . . . . .	18
2. Kalium oplosbaar in 0,1 N HCL . . . . .	18
3. Gefixeerd kalium . . . . .	18
V. BESCHOUWING OVER DE INVLOED VAN KALIFIXATIE OP DE GROEI VAN DIVERSE GEWASSEN . . . . .	24
SAMENVATTING . . . . .	28
SUMMARY . . . . .	31
ILLUSTRATIES (Figuren + Plaat) . . . . .	34
LITERATUUR . . . . .	43
TABELLEN . . . . .	45

<sup>1</sup> Dr Ir H. W. VAN DER MAREL is scheikundige-mineraloog en Ir J. T. N. VENEKAMP landbouwkundige-statisticus bij het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut T.N.O. te Groningen.

## I. INLEIDING<sup>1</sup>

Bij een vorig onderzoek – zie TEMME en VAN DER MAREL (1953) – werden voor de sterk kaliumfixerende grond van het kaliproefveld te Ammerzoden (Bommelerwaard) van de N.V. Kali Import Mij de volgende resultaten gevonden:

- a. Van de 2439 en 4877 K<sub>2</sub>O/ha, welke over een tijdvak van 16 jaren aan de grond was toegediend, werd volgens de oogstbalans resp. 717 en 1171 kg K<sub>2</sub>O/ha door het gewas opgenomen, d.i. resp. slechts 29 % en 24 %.
- b. Volgens proeven in het laboratorium, waarbij de onbemeste grond op verschillende wijzen (0,5 uur schudden, 2 weken overstaan + 1 uur schudden, 1 × droogdampen + 1 uur schudden en 6 × droogdampen + 1 uur schudden) met een verzadigde kaliumchloride-oplossing werd samengebracht, werd 2670 tot 8160 kg K<sub>2</sub>O/ha gefixeerd (omgerekend op een bouwvoor van 25 cm en een volumegewicht van de grond = 1,2). Van het gefixeerde kalium bleek, al naar gelang het contact met het toegediende KCl intensiever was geweest, 46 % (1230 van de 2670 kg K<sub>2</sub>O/ha) tot 78 % (6330 van de 8160 kg K<sub>2</sub>O/ha) niet oplosbaar te zijn in 10 % HCl bij percolatie van 25 g grond met 750 cc 10 % HCl bij kamertemperatuur.
- c. Door de onbemeste grond werd 61 % en 84 % van de toegedeende hoeveelheid kalium (100 mg K<sub>2</sub>O per 100 g grond) gefixeerd volgens resp. de „natte” en „droge” K-fixatiemethode (zie hierover verder onder Hfdst. II). Dit komt overeen met in totaal ca 1830 en 2520 kg K<sub>2</sub>O/ha gerekend op een bouwvoor van 25 cm. Verder bedroeg de kalifixatie in het – behoudens een enkele onderbreking – sinds 23 jaren gemiddeld met 290 K<sub>2</sub>O/ha bemeste K<sub>2</sub>PN-object volgens de „natte” en „droge” K-fixatiemethode (zie hiervoor verder onder Hfdst. II), resp. 26 % en 69 % of wel in totaal ca 780 en 2070 kg K<sub>2</sub>O/ha omgerekend op een bouwvoor van 25 cm. Het verschil in kalifixerend vermogen tussen bemest en onbemest is hier derhalve resp. slechts 1050 en 450 kg K<sub>2</sub>O/ha.

Teneinde te weten te komen, hoe het nu gesteld is met de kaliumfixatie van verschillende andere gronden en met de invloed, welke daarop door langjarig voortgezette bemesting wordt uitgeoefend, werden grondmonsters afkomstig van een groot aantal kaliumproefvelden onderzocht.

<sup>1</sup> De schrijvers betuigen hierbij gaarne hun dank aan Prof. Dr A. C. SCHUFFELEN (Wageningen) voor critische opmerkingen en enkele aanvullingen.

## II. DE BEPALING VAN DE HOEVEELHEID KALIUM WELKE DOOR EEN GROND WORDT GEFIXEERD

Onder kalifixatie wordt – zoals in de bodemchemische onderzoeken algemeen gebruikelijk is – verstaan het proces, waarbij kaliumionen zodanig door de grond worden gebonden, dat ze daaruit met neutraal of met bijna neutraal reagerende, gebufferde zoutoplossingen niet zijn vrij te maken. Een verdund sterk zuur, b.v. 0,1 N HCl, lost gefixeerde kaliumionen ten dele op. CHAMINADE (1934) toonde jaren geleden reeds aan, dat zelfs 0,02 N HCl reeds in staat zou zijn om gefixeerde kaliumionen gedeeltelijk op te lossen. Uit het onderzoek, dat wij zelve hiernaar instelden – zie TEMME en VAN DER MAREL (1953) – blijkt, dat door 0,1 N HCl nog ongeveer 15 % wordt opgelost van alle kaliumionen, welke door het in Nederland voorkomende kaliumfixerende illiet „ammersooiet”<sup>1</sup> worden gefixeerd bij schudden met een sterk geconcentreerde oplossing van kaliumchloride.

Bij het laatstgenoemde fixatieproces vindt een zeer sterke contractie plaats van de roosterplaten van dit K-fixerende mineraal,<sup>2</sup> waardoor het toegevoegde kalium sterk wordt ingesloten. De omstandigheden, waaronder dit proces op het laboratorium plaats grijpt, komen uiteraard niet voor onder natuurlijke omstandigheden.

De werkwijze, volgens welke de hoeveelheid kalium wordt bepaald, welke door een grond kan worden gefixeerd, berust op het volgende principe: Men voegt aan een zekere hoeveelheid grond een bepaalde hoeveelheid KCl-oplossing toe. Na een zekere inwerkingsduur, eventueel nadat gedroogd is bij een bepaalde temperatuur en vervolgens opnieuw is bevochtigd, wordt gefiltreerd. Men wast uit met een verdringingsvloeistof, waardoor tevens nog de uitwisselbare kaliumionen van de grond worden uitgewisseld. Daarop wordt in het filtraat de hoeveelheid kalium bepaald. Tenslotte wordt nog afzonderlijk de som van de hoeveelheid uitwisselbaar en oplosbaar kalium in de oorspronkelijke grond bepaald.

Uit de verschillende gegevens kan men dan berekenen hetgeen door de onderzochte grond wordt gefixeerd onder de bij de analyse gevolgde omstandigheden. Dit is een zuiver conventionele methode, daar zowel de hoeveelheid KCl welke wordt toegediend als de hoeveelheid grond welke wordt afgewogen en de wijze van inwerken willekeurig zijn gekozen. Per 100 g grond voegt CHAMINADE (1934) toe = 50 mg K<sub>2</sub>O, HAUSER (1941) = 96,4 mg K<sub>2</sub>O, DE VRIES en HETTERSCHU (1945) = 60 mg K<sub>2</sub>O en STANFORD (1947) = 117,5 mg K<sub>2</sub>O. Uit het onderzoek van STANFORD (1947) is bekend, dat het grootste gedeelte (ca 90 %) van de hoeveelheid kalium welke door de grond in b.v. 24 uren uit een KCl-oplossing kan worden vastgelegd, binnen 10 minuten reeds gefixeerd is.

Door VOLK (1934), CHAMINADE (1934) en HAUSER (1941) wordt voor het bepalen van de niet door de grond gefixeerde kaliumionen, 0,5 N NH<sub>4</sub>-acetaat gebezigd als verdringingsvloeistof. Hierbij wordt, zoals uit tabel 1 blijkt, meestal een lagere waarde voor het K-fixerend vermogen gevonden dan bij gebruik van 0,5 N Mg-acetaatoplossing. Soms worden echter hogere waarden gevonden.

Lagere fixatiecijfers van de NH<sub>4</sub>-acetaatmethode t.o.v. die van de Mg-acetaatmethode, kunnen als volgt worden verklaard: NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-ionen kunnen – zoals 35 jaar geleden reeds door MCBETH (1917) werd opgemerkt en naderhand door CHAMINADE (1936-a) analytisch werd

<sup>1</sup> Zie voor uitvoerige gegevens omtrent de eigenschappen van dit mineraal VAN DER MAREL (1954).

<sup>2</sup> Het kalifixatieverschijnsel van buitenlandse gronden kan ook nog worden veroorzaakt door diverse andere mineralen. Zo b.v. door sterk verweerde veldspaat (warvenklei – Finland), door sterk verweerde biotiet en vermiculiet (gneissgronden Noorwegen en Schotland) en door sterk verweerde metabentoniet (Webster clay loam – Amerika).

bewezen – evenals  $K^+$ -ionen door een grond worden gefixeerd. Deze fixatie geschiedt door contractie van de roosterplaten van een illietsoort door ionen met een grote polariseerbaarheid ( $\alpha_D$  in Å) per eenheid van lading – zie TEMME en VAN DER MAREL (1953) en VAN DER MAREL (1954) –.<sup>1</sup> Aangezien, volgens de gegevens van BÖTTCHER (1946), de polariseerbaarheid van het  $NH_4^+$ -ion ( $\alpha_D = 1,604$ ) belangrijk groter is dan die van het  $K^+$ -ion ( $\alpha_D = 0,956$ ), worden bij het percoleren met de 0,5 N  $NH_4$ -acetaatoplossing ter verwijdering van de overmaat  $K^+$ -ionen en van de uitwisselbare  $K^+$ -ionen ook gefixeerde  $K^+$ -ionen verwijderd. Het lijkt dan, alsof de grond minder kalium fixeert dan in feite het geval is.

Hogere K-fixatiecijfers van de  $NH_4$ -acetaat- t.o.v. die van de Mg-acetaatmethode worden daarentegen veroorzaakt doordat bij de bepaling van de hoeveelheid uitwisselbaar kalium met 0,5 N  $NH_4$ -acetaat, een grotere hoeveelheid uitwisselbaar kalium wordt gevonden dan bij percolatie met 0,5 N Mg-acetaat het geval is. Tenslotte kunnen hogere cijfers ontstaan doordat de  $NH_4^+$ -ionen gedeeltelijk verhinderen, dat de uitgewisselde  $K^+$ -ionen door het K-fixerende illiet worden vastgelegd. Het proces der kalifixatie verloopt immers volgens STANFORD (1947) zeer snel en de snelheid is bovendien nog afhankelijk van de concentratie.

Een andere gebufferde verdringingsvloeistof, welke gebezigd kan worden, is o.a. 0,5 N Na-acetaat. Hoewel de prijs van 0,5 N Mg-acetaat aanmerkelijk hoger is dan van de laatste, werd om analytische redenen 0,5 N Mg-acetaat genomen. Voorheen was het nl. nog niet goed mogelijk om met de vlamfotometer kalium te bepalen bij een grote overmaat aan natrium. Thans heeft men infrarood-gevoelige kleurfilters en fotocellen, welke de rode (7665–99 Å) kaliumlijn beter van de gele (5890–96 Å) natriumlijn kunnen scheiden, zodat men thans bij de bepaling van het kalifixerende vermogen veel goedkoper 0,5 N Na-acetaat kan bezigen. Het volgende voorschrift werd bij verschillende analyses gevolgd:

#### ANALYSEMETHODE TER BEPALING VAN DE KALIUMFIXATIE

##### a. Uitwisselbaar en oplosbaar kalium

25 g vochtvrije grond wordt gedurende 1 uur geschud met ca 400 cc  $H_2O$  in een fles van 500 cc. Men filtreert daarna over een Buchner-filter van 15 cm diameter, waarbij wordt gebruikt filtreerpapier van  $BaSO_4$ -dichtheid. Vervolgens wordt de grond op het filter gepercolleerd met 0,5 N Mg-acetaat bij kleine porties, totdat het filtraat ongeveer 600 à 650 cc bedraagt. Dit wordt ingedampt tot  $\pm 200$  cc, waarna 50 cc (evtl. méér) verzadigde  $NH_4$ -oxalaatoplossing wordt toegevoegd. Men laat de oplossing gedurende 2 uur op een kokend waterbad staan ter volledige precipitatie van het calcium. Men brengt de inhoud van het bekerglas in een maatkolf van 250 cc. Na aanvullen tot de maatstreep en omschudden van de inhoud wordt gefiltreerd. In het filtraat wordt kalium bepaald met de vlamfotometer = A mg  $K_2O$ . Bij elke serie bepalingen gaat een „blanco” mede, waarbij dus geen grond wordt afgewogen, doch wel de KCl-oplossing wordt afgemeten en gebracht in de schudkolf van 500 cc, etc., etc., waarna ook het kaligehalte wordt bepaald = B mg  $K_2O$ . Het gehalte aan uitwisselbaar  $K_2O$  in de betreffende grond is dan:

$$4 \times \frac{A - B \times 0,001 \%}{4} = (A - B) \times 0,001 \%$$

<sup>1</sup> De hexagonale holten, welke zich tussen de roosterplaten van ammersooiet bevinden, bezitten in de gesloten toestand = illiet, een diameter van 2,8 Å – zie PAULING (1945). Dit maakt dat zeer sterk polariseerbare ionen, welke echter zeer veel groter zijn dan deze hexagonale holten, desondanks niet worden gefixeerd. Dit is o.a. het geval met het dimethylammoniumion ( $2r = 5,94$  Å en  $\alpha_D = 6,9$  Å<sup>3</sup>).

De standaardafwijking van de enkele waarneming ( $= s$ ) van deze analyse bedraagt bij een gehalte van 0,010 % en 0,050 % resp. 0,0004 % en 0,0008 % (werkelijke percentages) = gemiddeld 0,0006 %.

*b. Kaliumfixatie volgens de „natte” methode*

25 g vochtvrije grond wordt gedurende 1 uur geschud in een fles van 500 cc met 25 cc KCl-oplossing welke 25 mg  $K_2O$  bevat en ca 375 cc  $H_2O$ . Men laat daarop een nacht overstaan. De volgende dag wordt gefiltreerd, met 0,5 N Mg-acetaat gepercoleerd op het filter bij kleine porties etc. etc. zoals sub *a* is aangegeven.

Bij elke serie bepalingen gaat ook in dit geval een blanco zonder grond mede. Hierbij wordt dus geen grond afgewogen, doch wel wordt 25 cc van de KCl-oplossing afgemeten en gebracht in de schudkolf van 500 cc etc. etc.

Van de hoeveelheden kalium, welke in het filtraat worden gevonden  $= C$  mg  $K_2O$ , wordt afgetrokken de hoeveelheid uitwisselbaar kalium  $= A - B$  mg  $K_2O$ . De hoeveelheid gefixeerd kalium wordt verkregen door het bij de blanco gevonden kaliumgehalte  $= D$  mg  $K_2O$  te verminderen met  $C - (A - B)$  en het dan verkregen cijfer te betrekken op het bij de blanco gevonden kaliumgehalte; derhalve:

$$\text{kalifixatie in \%} = \frac{D - [C - (A - B)]}{D} \times 100$$

De standaardafwijking van de enkele waarneming ( $= s$ ) van deze analyse bedraagt bij een fixatie van 20 % en 60 % resp. 3,3 en 2,3 % (werkelijke percentages) = gemiddeld 2,8 %.

*c. Kaliumfixatie volgens de „droge” methode*

25 g vochtvrije grond wordt in een bekersglas van 250 cc geschud met 25 cc KCl-oplossing van de sub *b* opgegeven sterkte (evtl. met nog wat  $H_2O$  totdat een dikke suspensie is verkregen). Men zet het bekersglas in een droogstoof van ca 70°C en laat het hierin gedurende 16 uren overstaan (evtl. langer indien de grond niet geheel droog is).

De droge grond wordt met ca 400 cc  $H_2O$  overgespoeld in een schudkolf van 500 cc. Daarop wordt gedurende 1 uur geschud, gefiltreerd, met 0,5 N Mg-acetaat gepercoleerd op het filter bij kleine porties etc. etc., zoals sub *a* is aangegeven. Bij elke serie bepalingen gaat ook in dit geval een „blanco” mede, waarbij dus geen grond wordt afgewogen, doch wel de KCl-oplossing wordt afgemeten en gebracht in de schudkolf van 500 cc. De hoeveelheid gefixeerde kaliumionen in % wordt op dezelfde wijze berekend als sub *b* is aangegeven.

De standaardafwijking van de enkele waarneming ( $= s$ ) van deze analyse bedraagt bij een fixatie van 40 % en 85 % resp. 2,9 en 2,1 % (werkelijke percentages) = gemiddeld 2,5 %.

Uit het bovenstaande blijkt, dat de hier gevolgde analyse-methodiek – in het bijzonder door de tijdrovende percolaties en filtraties – nogal bewerkelijk is. Er werd nog getracht om – gebruikmakende van de eigenschap, dat gefixeerde kaliumionen voor een deel gemakkelijk door 0,1 N HCl worden opgelost – tot een snellere bepalingswijze te komen. Daarbij werd de grond allereerst met een zeer grote overmaat KCl gedroogd bij 70°C<sup>1</sup>. Nadat 0,5 N Mg-acetaat was toegevoegd en gedurende 1 uur was geschud, werd de overmaat KCl uitgewassen door percolatie met 0,5 N Mg-acetaat op een Buchner afzuigfilter. Daarop werd de grond,

<sup>1</sup> In tegenstelling met de conventionele methode van toevoeging van 100 mg  $K_2O$  per 100 g grond, wordt hier dus een overmaat gebezigd ten einde zoveel mogelijk gefixeerd kalium te verkrijgen, dat dan gedeeltelijk door 0,1 N HCl wordt opgelost.

welke dus alleen het gefixeerde kalium bevat (het uitwisselbare kalium is met het percolaat verdwenen), geschud met 0,1 N HCl en in het filtraat werd kalium bepaald.

Uit de analyses bleek echter, dat bij deze wijze van werken het uitwassen van de overmaat KCl niet altijd goed mogelijk was. Bij zware kleien met montmorilloniet treden grote afwijkingen op. Indien het gefixeerde kalium niet met 0,1 N HCl, doch met 0,1 N HNO<sub>3</sub> wordt opgelost en indien in het filtraat tevens de hoeveelheid Cl<sup>-</sup>-ionen wordt bepaald langs titrimetrische weg (MOHR), kan de fout welke wordt veroorzaakt door het ingesloten KCl worden ontgaan. Doch hierdoor wordt de analyse weer veel bewerkelijker, zodat uiteindelijk toch geen snellere analysemethode werd verkregen.

### III. DE HOEEVEELHEID KALIUM WELKE DOOR VERSCHILLENDE GRONDEN WORDT GEFIXEERD, BEPAALD VOLGENS DE NATTE EN DE DROGE KALIFIXATIEMETHODE

In tabel 2 wordt van een groot aantal proefvelden de hoeveelheid gefixeerd kalium vermeld, zoals deze door de natte en de droge kalifixatiemethode is vastgesteld. Hierbij zijn tevens opgegeven de hoeveelheden uitwisselbaar kalium, welke worden gevonden met de bij de kalifixatie aangegeven analysemethodiek.

In deze tabel zijn tevens opgenomen de pH van de desbetreffende gronden en de gehalten aan  $\text{CaCO}_3$ , humus, fractie  $< 2 \mu$  en kalium oplosbaar bij schudden met 0,1 N HCl (K-HCl cijfer).

De resultaten worden in de hier volgende paragrafen 1 t/m 4 besproken.

#### 1. DE HOEEVEELHEID KALIUM WELKE WORDT GEFIXEERD VOLGENS DE NATTE T.O.V. DIE WELKE WORDT GEFIXEERD VOLGENS DE DROGE KALIFIXATIEMETHODE

Uit de in tabel 2 vermelde analyses blijkt, dat de natte methode ter bepaling van de fixatie lagere waarden oplevert dan de droge methode. De oorzaak hiervan is niet alleen, dat het contact van de gronddeeltjes met de toegevoegde  $\text{K}^+$ -ionen bij de laatste werkwijze veel sterker is geweest, doch ook, dat de contractie van de roosterplaten van het K-fixerend illiet door het drogen sterk wordt bevorderd. Het blijkt dat een jarenlange kalibemesting zowel de natte als de droge K-fixatie vermindert.

Het is niet mogelijk om – ook onder overigens dezelfde omstandigheden zoals drainage, onttrekking door het gewas etc. – het verschil in kalifixerend vermogen tussen bemeste en onbemeste grond zonder meer gelijk te stellen aan de hoeveelheid kalium welke uit de toegevoegde kalimest is gefixeerd.

De oorzaak ervan is, dat bij de hier gevolgde bepalingmethode een beperkte hoeveelheid kalium (100 mg  $\text{K}_2\text{O}$  op 100 g grond) wordt toegediend. Derhalve stelt zich hier een evenwicht in. Fixatiecijfers van ca 80 % en hoger vertonen dan ook weinig differentiatie meer.<sup>1</sup> Ze duiden enkel aan, dat de betreffende grond sterk kalium fixeert, doch ze zijn niet meer geschikt als een kwantitatieve maat voor het werkelijke fixatievermogen van een grond.

In figuur 1 is zowel van de onbemeste als van de bemeste gronden, welke in tabel 2 zijn genoemd, de natte fixatie uitgezet tegen de droge fixatie. Uit deze figuur blijkt dat er – ondanks het feit dat hier verschillende grondsoorten tezamen werden genomen – bij de onbe-

<sup>1</sup> Dat de fixatiecijfers van sterk K-fixerende gronden niet hoger komen dan ca 90 %, wordt door het volgende veroorzaakt:

Tijdens het percoleren van de grond met 0,5 N Mg-acetaat worden uitwisselbare K-ionen uit het adsorptiecomplex verdronen. Deze worden daarop sterker door de niet vooraf met KCl behandelde grond gefixeerd dan door dezelfde grond welke vooraf met deze oplossing is behandeld ter bepaling van de natte of droge kalifixatie. Uiteraard zal het verschil het grootst zijn bij zeer sterk K-fixerende gronden. Bij deze laatste wordt dus te weinig uitwisselbaar kalium afgetrokken van de hoeveelheid kalium welke wordt gevonden na de behandeling van de grond met de KCl-oplossing. Slechts bij uitzondering worden fixatiecijfers van 100 % en méér gevonden bij de bepaling van de droge fixatie. De laatste worden daardoor veroorzaakt, dat tijdens het schudden van de grond met 0,5 N Mg-acetaat na het drogen, ook nog het uitwisselbaar kalium wordt gefixeerd. Dit verschijnsel treedt vooral op bij sterk K-fixerende gronden welke zwaar met kalium zijn bemest en waarbij dus veel uitwisselbaar kalium voorkomt naast een hoge K-fixatie bepaald volgens de droge methode.



meste gronden tot een natte fixatie van ca 60 %, een vrij goed verband bestaat tussen de hoeveelheid gefixeerd kalium bepaald volgens de natte en de droge K-fixatiemethode. Bij de bemeste gronden vinden we eveneens een samenhang; echter wordt in dit geval de natte K-fixatie t.o.v. de droge K-fixatie, lager gevonden (zie het verschil in de hellingshoek van de beide lijnen). Dit is een gevolg van het feit, dat in de natuur de natte fixatie ook optreedt, doch dat het sterke uitdrogen, dat bovendien nog plaatsvindt bij de bepalingen van de droge fixatie in het laboratorium – althans in de Nederlandse gronden – veel minder voorkomt dan het eerstgenoemde proces. Bemeste gronden zullen derhalve bij de bepaling van het K-fixerend vermogen in het laboratorium een relatief sterkere daling van de natte dan van de droge K-fixatie vertonen. Vooral bij de hogere waarden zal dit als gevolg van de beperktheid van de gevolgde analysemethodiek (onvoldoende differentiatie) het geval zijn. Op dit verschijnsel werd in een vorig onderzoek – zie TEMME en VAN DER MAREL (1953) – reeds gewezen. Zo daalde de natte fixatie van het proefveld Ammerzoden in de loop van 23 jaren, waarbij in totaal 6670 kg  $K_2O$  was gegeven, van 61 tot 26 %. De droge fixatie daarentegen zakte slechts van 81 tot 69 %.

De samenhang tussen natte en droge fixatie welke derhalve voor diverse grondsoorten zou gelden, komt ook naar voren in figuur 2, waar de beide waarden met elkander worden vergeleken voor twee duidelijk van elkaar verschillende grondsoorten, nl. zee- en rivier- (Maas, Waal, Rijn en IJssel) afzettingen. Daaruit blijkt immers dat, met uitzondering van de met een kruisje gemerkte punten (waarover nader), bijna alle punten vallen binnen de toelaatbare spreidingsbreedte van  $2\frac{1}{2} \times$  de standaardafwijking ( $P = 0,015$ ) ter weerszijden van de curve.

De schalen van de assen werden in deze figuren dusdanig gekozen, dat de elementaire fout waarmee elke grootheid behept is, zowel in horizontale als verticale richting even groot is. Deze bedraagt gemiddeld 2,8 % voor de natte fixatie en 2,5 % voor de droge fixatie – zie standaardafwijking. De schalen van de assen, waarop de betreffende waarnemingen moeten worden uitgezet, verhouden zich derhalve als  $2,8 : 2,5 = 1 : 1,12$ . De curve, welke daarop door de puntenzwerm in de figuur is getekend, is niet getrokken volgens een bepaalde wiskundige functie, doch volgens het principe dat de curve een eenvoudige lijn zal zijn, die zo goed mogelijk harmonisch in de puntenzwerm past. Er is naar gestreefd de curve zó te tekenen, dat ze overal loodrecht staat op de nauwste frequentieverdeling en daarbij de top van deze frequentieverdelingen benadert. De getrokken lijn is dus geen regressielijn.

Aan weerszijden van de curve zijn nu de grenzen tot een spreidingsbreedte van  $2\frac{1}{2} \times s$  met streep-lijnen aangegeven. Dit werd gedaan door een raaklijn te trekken aan de cirkels met een straal van  $2\frac{1}{2} \times s$  welke op verschillende punten van de curve werden getekend. Waar de schalen van de assen doelbewust gekozen werden in de verhoudingen van de standaardafwijkingen van de betreffende grootheden, bestaat in dit geval de kans, dat door het toeval gemiddeld 98,5 % van het totaal binnen de aangegeven grenzen zal vallen – zie tabel van FISHER (1948). Het totaal aantal vrijheidsgraden is hier nl. doordat de standaardafwijkingen werden bepaald uit de analyses van 11 grondmonsters à elk 12 waarnemingen =  $11 \times 11 = 121$ .

Bij een beschouwing van de figuur blijkt, dat bij een natte K-fixatie van 10 %, zowel een droge K-fixatie van 15 % als van 60 % kan voorkomen. Omgekeerd kan men bij een droge K-fixatie van 70 % zowel een natte K-fixatie van 15 % als van 40 % vinden. Deze sterk uiteenlopende verschillen zijn groter dan overeenkomt met de toelaatbare variatie (12,5 tot 14 %) welke is gevonden uit de bepaalde standaardafwijkingen van de betreffende analyses. Indien echter een monster, dat in één van bovengenoemde groepen valt, opnieuw wordt onderzocht, komen de hierboven genoemde grote verschillen niet voor.

Uit de figuur blijkt verder, dat behoudens enkele uitzonderingen de mariene gronden zich t.o.v. het K-fixatieverschijnsel niet onderscheiden van de rivierafzettingen. Dit stemt overeen met het feit, dat in beide grondsoorten bij een sterke kalifixatie enkel een grote hoeveelheid ammersooiet wordt gevonden als bijzonder mineraal en niet iets anders, zoals b.v. veel vermiculiet, welk mineraal eveneens in staat is om kali sterk te fixeren.

Ook werd enkel ammersooiet gevonden als bijzonder mineraal bij de uitzonderingen welke in figuur 2 met een kruisje zijn aangegeven. Deze punten zijn afkomstig van gronden waar een van oorsprong sterk kalifixerende grond, zoals te Ammerzoden (proefveld Kali Import Mij) en te Wageningen (proefveld „De Lange Ossekampen”) zwaar met kalium werd bemest (zie tabel 3). Vooral op het laatste proefveld is dit het geval geweest.<sup>1</sup> De oorzaak van de gevonden afwijkingen (zie de kruisjes in figuur 2) is als volgt: Een zeer sterke contractie van de illietroosterplaten, waarbij de  $K^+$ -ionen tot diep in het inwendige van het kristalrooster worden opgesloten (gefixeerd), heeft enkel plaats bij een hoge temperatuur en een hoge concentratie aan actieve  $K^+$ -ionen. De grote invloed van al deze factoren werd door diverse onderzoekers w.o. CHAMINADE, (1936-c) LEVINE (1947), YORK (1949) en ALLISON (1951) vastgelegd. Nu hebben we onder natuurlijke omstandigheden niet te maken met de zeer sterke kalifixatie, zoals deze door de droge kalifixatie-analyse wordt aangegeven. Immers de gronden hier te lande drogen niet dermate tot op grote diepte uit, dat er praktisch geen water meer in voorkomt. Ook de in de bemesting toegediende hoeveelheden kalium zijn klein in vergelijking met die, welke worden gebezigd bij de bepaling van het kalifixatievermogen i.c. ongeveer 3000 kg  $K_2O/ha$  bij een diepte van de bemeste laag van 25 cm. Aan de oppervlakte van de grond kan uitdroging wel in zekere mate (afhankelijk van de dampspanning) gebeuren, hetgeen dan in overeenstemming zou zijn met het feit, dat zoals in de streken met sterk K-fixerende gronden (Bommelerwaard, de Langstraat, de Biesbos) uit de praktijk bekend is, het K-fixatie-verschijnsel zich bij een bijzonder K-gevoelig gewas (zoals aardappel) in droge jaren sterker doet gevoelen dan in natte jaren.

In de praktijk is slechts bij uitzondering zeer zwaar gemest op rivier- en zeekleigronden. Het gevolg ervan is, dat de meeste (praktijk)punten zijn gelegen in de ter weerszijden van de lijn getekende spreidingsbreedte, waarbinnen dan 98,5 % der waarnemingen zouden vallen volgens de bij de analyse gevonden standaardafwijkingen.

Bij deze wijze van voorstellen is bovendien nog van de gedachte uitgegaan, dat de ligging van de punten wordt bepaald door een wetmatigheid, aangegeven door de volledig getrokken lijn en door een toevalsspreiding die loodrecht op de getrokken lijn staat. Verder wordt aangenomen, dat bij elk punt een „waar” punt op de getrokken lijn behoort met een cirkelvormige kansfiguur om zich heen.

Daar echter relatief te veel punten buiten de aangegeven spreidingsbreedte vallen, moet de conclusie worden getrokken, dat de beide fixatiebepalingsmethoden niet geheel van elkaar afhankelijk zijn.

Een *statistische* samenhang, zoals in de beschouwde figuur met weglating van de extreme punten wordt gevonden, demonstreert slechts wat vaak door min of meer toevallige omstandigheden wordt waargenomen. Aangezien de omstandigheden, welke maken dat uit alle mogelijke gevallen slechts enkele bepaalde veelvuldig naar voren komen, niet bekend zijn, is het hechten van vergaande conclusies aan statistische verbanden gevaarlijk. In ieder geval is het nodig, dat er een fundamenteel onderzoek wordt ingesteld naar de realiteit en de oorzaak van langs statistische weg gevonden verbanden. Bij dit onderzoek dienen dan vooral extreme gevallen te worden betrokken.

<sup>1</sup> Het zwaar bemeste (2 K) object van Ammerzoden ontving in 23 jaren in totaal 6670 kg  $K_2O/ha$  en gemiddeld jaarlijks 290 kg  $K_2O/ha$ . Op het proefveld „De Lange Ossekampen” werd in 18 jaren in totaal gegeven 8217 kg  $K_2O/ha$  à gemiddeld 456 kg  $K_2O/ha$ .

## 2. DE HOEVEELHEID KALIUM WELKE WORDT GEFIXEERD VOLGENS DE NATTE EN DE DROGE KALIFIXATIEMETHODE T.O.V. DE HOEVEELHEID FRACTIE $< 2 \mu$ IN DE GROND

Zoals hiervoren reeds is vermeld, is de oorzaak van de kalifixatie, althans hier in Nederland, te wijten aan het voorkomen van een kalifixerend mineraal = „ammersooiet”, hetwelk, evenals andere specifieke kleimineralen (kaolinit, montmorilloniet, illiet), enkel voorkomt in de fractie  $< 2 \mu$  en niet in de grovere grondfracties. In de ene grondsoort komt echter, zoals uit röntgenologisch onderzoek bleek, niet evenveel K-fixerende illiet voor als in een andere grondsoort; zelfs in een bepaalde grondsoort komen nog verschillende gehalten voor.<sup>1</sup>

In figuur 3 is voor een groot aantal zee- en rivier- (Maas, Waal, Rijn, IJssel) afzettingen de hoeveelheid fractie  $< 2 \mu$  vergeleken met de natte en droge kalifixatie.

Uit deze figuur blijkt dat – in algemene zin gesproken – rivierafzettingen bij eenzelfde hoeveelheid fractie  $< 2 \mu$  veel sterker kalium vastleggen dan zee-afzettingen. Nu is het illietgehalte (niet K-fixerend + K-fixerend) van de fractie  $< 2 \mu$  van de beide afzettingen practisch aan elkander gelijk = 80 % (1950).

Quantitatieve röntgenanalyses van de fractie  $< 2 \mu$  zijn echter zeer tijdrovend en bovendien niet nauwkeurig genoeg voor een juiste onderkenning van het gehalte van niet K-fixerende (gewone Fithian illiet) en K-fixerende (ammersooiet) illiet.

Bij de zeekleigronden blijken de punten van de figuur natte fixatie/fractie  $< 2 \mu$  – behoudens enkele uitzonderingen – in een vrijwel horizontale band te liggen. Daar gewone (Fithian) illiet geen kalium fixeert bij schudden met een KCl-oplossing (natte fixatie), bezitten de monsters welke op de 0-lijn zijn gelegen geen ammersooiet. Hiertoe behoren o.a. weinig verweerde jonge mariene gronden en verder weinig verweerde zeer fijne potkleien, welke bij een röntgenanalyse van de fractie  $< 2 \mu$  ook enkel gewoon illiet tonen en geen ammersooiet (zie plaat I, no 2).

De bovenste punten welke in de horizontale band liggen, zullen daarentegen de maximale hoeveelheid ammersooiet bevatten, die in de zeekleigronden van diverse zwaarte gewoonlijk voorkomt. Punten welke boven de horizontale band vallen, zijn sterk verweerde zeekleigronden i.c. rodoorngronden en zure veengronden, welke dus meer ammersooiet bevatten dan gewoonlijk in de zeekleigronden onder normale verwerking voorkomt (zie plaat I, no 3).

Bij de figuur natte fixatie/fractie  $< 2 \mu$  van de rivierkleigronden wordt door de verschillende punten een minder uitgesproken horizontale band gevormd. De reden hiervan is, dat bij de rivierafzettingen de verschillen in het fixatievermogen bij een gelijke hoeveelheid fractie  $< 2 \mu$  veel groter zijn dan bij die van de zee-afzettingen, terwijl verder bij beide slechts een beperkt aantal monsters werden onderzocht. Evenwel vindt men ook bij de rivierafzettingen gronden welke niet fixeren. Dit zijn weinig verweerde sedimenten (o.a. vers riviefslik), waarbij dus het oorspronkelijke door de Maas aangevoerde illiet niet is omgezet (zie plaat I, no 4). Uit figuur 3 kan nu als volgt een aanduiding worden verkregen over de sterkte van het kalifixatievermogen van de Nederlandse zee- en rivierafzettingen.

De fractie  $< 2 \mu$  van de grond, afkomstig van het kaliproefveld te Ammerzoden, bevat naast andere niet K-fixerende mineralen (kwarts en kaolien) practisch enkel K-fixerend illiet = ammersooiet tot een gehalte van circa 80 % (zie plaat I – fig. 6).

Deze grond, die 27,6 % fractie  $< 2 \mu$  bezit, fixeert 61 % kalium, bepaald volgens de natte kalifixatiemethode d.i. per % fractie  $< 2 \mu$  = 2,21 % kalium ofwel per % ammersooiet

<sup>1</sup> Uit onderzoek blijkt, dat afzettingen welke veel onder water hebben gestaan, t.w. laaggelegen zeekleigronden (Eemskleien), veenachtige rivier- en zeeklei-afzettingen (d.z. de door Hubig genoemde „biogene kleien”) zomede verweerde zeekleigronden (rodoorngronden en katekleien) sterk kalium kunnen vastleggen (een nadere publicatie hierover volgt).

$= 2,26 \times \frac{100}{80} = 2,76\%$  kalium uit de toegediende KCl-oplossing (100 mg  $K_2O$  per 100 g grond).

Uit fig. 3, waar de natte kalifixatie van zeekleigronden wordt vergeleken met de fractie  $< 2\mu$ , blijkt, dat behoudens enkele uitzonderingen, door de zeekleigronden maximaal 20 % kalium wordt gefixeerd d.i. overeenkomend met  $\frac{20}{2,76} = 7,2\%$  ammersooiet. Bij een gehalte van ca 19 % fractie  $< 2\mu$ , waarbij deze maximale K-fixatie van 20 % optreedt, zou derhalve de fractie  $< 2\mu$  van de zeekleigronden maximaal slechts  $\frac{7,2}{19} \times 100 = \text{ca } 38\%$  ammersooiet bevatten d.i. slechts ongeveer de helft van dat van de rivierkleigronden = 80 %.

Uit het bovenstaande blijkt derhalve wel duidelijk, dat het gehalte aan kalifixerend illiet (ammersooiet) bij zowel zee- als rivierafzettingen zeer wisselend is en niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid fractie  $< 2\mu$ . Ook fixeren rivierafzettingen gewoonlijk méér kalium dan zeeafzettingen. Het laatste is nog het geval bij ongeveer eenzelfde hoeveelheid uitwisselbaar kalium en kalium oplosbaar in 0,1 N HCl betrokken op 100 gewichtsdelen  $< 2\mu$  (actief materiaal). Zo fixeert de onbemeste grond van het proefveld te Ammerzoden 61 % en 84 % kalium, bepaald volgens resp. de natte en droge K-fixatiemethode bij een gehalte aan fractie  $< 2\mu$  van 27,6 %. De hoeveelheid uitwisselbaar kalium en kalium oplosbaar in 0,1 N HCl bedraagt hier resp. 0,003 % en 0,008 %, ofwel betrokken op 100 gewichtsdelen fractie  $< 2\mu$  resp. 0,011 % en 0,029 %. Daarentegen fixeert de onbemeste grond uit het proefveld te Bellingwolde 43 % en 64 % kalium bepaald volgens resp. de natte- en droge K-fixatiemethode bij een gehalte aan fractie  $< 2\mu$  van ca 37,8 %. De hoeveelheid uitwisselbaar kalium en kalium oplosbaar in 0,1 N HCl is hier resp. 0,005 % en 0,012 %, ofwel betrokken op 100 gewichtsdelen fractie  $< 2\mu$  resp. 0,013 % en 0,032 %. Deze laatste cijfers zijn ongeveer gelijk aan die welke voor Ammerzoden zijn gevonden.

Bij röntgenologisch onderzoek blijkt nu, dat in de fractie  $< 2\mu$  van Ammerzoden enkel ammersooiet voorkomt en geen illiet (zie plaat I - fig. 6). Daarentegen komt in de fractie  $< 2\mu$  van Bellingwolde ook nog illiet voor (zie plaat I - fig. 3). Het grote verschil in fixatievermogen tussen beide gronden (als gevolg van de beperktheid van de analysemethodiek bij de hogere waarden is het gevonden verschil tussen de fixatiecijfers in feite nog groter) is hiermede dus verklaard.

Echter zal men in een bepaald zeer eng begrensd grondtype, waarbij dus de verwerking na de afzetting van het oorspronkelijke materiaal onder dezelfde omstandigheden heeft plaats gehad, wel een gelijke samenstelling van de fractie  $< 2\mu$  kunnen vinden. Zo bevatten alle laaggelegen rivierafzettingen (komgronden) praktisch enkel ammersooiet en jonge zee- en rivierslikken enkel illiet.

### 3. DE HOEVEELHEID UITWISSELBAAR EN IN 0,1 N HCl OPLOSBAAR KALIUM, T.O.V. DE HOEVEELHEID KALIUM WELKE WORDT GEFIXEERD VOLGENS DE NATTE EN DE DROGE KALIFIXATIEMETHODE

De hoeveelheid uitwisselbaar kalium, welke in een grond voorkomt, wordt door diverse factoren bepaald o.a. uitspoeling, onttrekking door gewassen, de grootte van het adsorptie-complex, zomede het aantal van de andere kationen ( $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ), welke in dat adsorptiecomplex aanwezig zijn. De hoeveelheid  $K_2O$  welke oplost bij schudden van de grond met 0,1 N HCl in een verhouding van 1:10 gedurende 1 uur, is behalve van de hierboven genoemde factoren ook nog van diverse andere afhankelijk, o.a. van het gehalte aan

sesquihydroxide- en kiezelzuur sesquihydroxidegelen, welke in de grond voorkomen en welke een zekere afstomping veroorzaken van het toegediende zuur, zodat derhalve minder overblijft om kalium uit de grond op te lossen. Verder wordt bij deze analyse voor het geval  $\text{CaCO}_3$  in de grond voorkomt, zoals gebruikelijk, vóór het schudden 20 cc N HCl per %  $\text{CaCO}_3$  toegevoegd. Dat is een sterk zuur, hetwelk, voordat de overmaat  $\text{CaCO}_3$  geneutraliseerd is, een sterkere aantasting van het in een grond voorkomende kalium – w.o. het slechts zeer zwak gebonden gefixeerde kalium – veroorzaakt, dan met 0,1 N HCl mogelijk is.

Ook de hoeveelheid kalium, welke door een grond wordt gefixeerd, is eveneens van diverse factoren afhankelijk, o.a. de pH, de hoeveelheid K-fixerend illiet welke in de fractie  $< 2 \mu$  voorkomt, zomede de mate waarin deze K-fixerende illiet door de toegediende kalibemestingen is afgestompt.

Uiteraard zijn al de hierboven genoemde factoren niet voor alle (onderzochte) gronden gelijk. Teneinde de invloed van de belangrijkste factoren uit te sluiten bij het nagaan van een mogelijk verband tussen de hoeveelheid uitwisselbaar – of in 0,1 N HCl oplosbaar – kalium in verschillende gronden en het K-fixerend vermogen ervan, zijn een 27-tal rivier- en zeekleigronden met ongeveer eenzelfde pH, eenzelfde gehalte aan fractie  $< 2 \mu$  en humus tezamen genomen (zie tabel 4).

#### *Natte- en droge kalifixatie t.o.v. de hoeveelheid uitwisselbaar kalium (zie figuur 4)*

Uit fig. 4A, waarin de natte fixatie is vergeleken<sup>1</sup> met de hoeveelheid uitwisselbaar kalium, blijkt dat boven een gehalte van het laatste van 0,020 %, de curve practisch horizontaal verloopt. Derhalve geeft in dit gedeelte van de curve de hoeveelheid uitwisselbaar  $\text{K}_2\text{O}$  geen informatie meer over de grootte van de natte fixatie. Enkel bij een lager gehalte dan 0,20 %  $\text{K}_2\text{O}$ , tonen beide grootheden een gelijktijdige verandering in hun gemiddelde waarden (covariatie). In dit traject vallen echter 3 à 6 punten buiten de spreidingsbreedte van  $5 \times$  de standaardafwijking.

Afgezien van de mogelijkheid, dat de standaardafwijking en dus ook de spreidingsbreedte enigermate zijn onderschat, moet worden geconcludeerd, dat beneden 0,020 %  $\text{K}_2\text{O}$  de uitkomsten van de natte fixatie en van de uitwisselbare  $\text{K}^+$ -ionen niet in die mate met elkaar overeenstemmen, dat ze volkomen van elkander afhankelijk zijn. Er zijn nl. factoren in het spel, die een verschillende invloed hebben op de resultaten van beide methoden. Men kan echter wel zeggen, dat bij een beschouwing van het geheel blijkt, dat er in de grond geen nauwe afhankelijkheid bestaat tussen de natte fixatie en de hoeveelheid uitwisselbare  $\text{K}^+$ -ionen.

Uit figuur 4B, waarin de droge fixatie is vergeleken met de hoeveelheid uitwisselbaar kalium, blijkt dat ongeveer de helft van de punten buiten de spreidingsbreedte van  $5 \times$  de

<sup>1</sup> Teneinde een indruk te verkrijgen van de wetmatigheid, die de puntenzwerm beheerst, is het ook in dit geval nodig de verhouding tussen de eenheden langs de assen zó te kiezen, dat de elementaire fout, zoals deze in de figuur kan worden gemeten, zowel in de horizontale als in de verticale richting even groot is. Deze fout – de standaardafwijking (s) – bedraagt gemiddeld 2,8 % voor de natte fixatie, gemiddeld 2,5 % voor de droge fixatie en gemiddeld 0,6 eenheid (in 1/1000 %) voor de hoeveelheid uitwisselbaar kalium. De schalen van de assen, waarop de betreffende waarnemingen moeten worden uitgezet, verhouden zich derhalve als 2,8 : 0,6 ofwel als 4,7 : 1 voor de natte fixatie t.o.v. de hoeveelheid uitwisselbaar kalium en als 2,5 : 0,6 ofwel als 4,2 : 1 voor de droge fixatie t.o.v. de hoeveelheid uitwisselbaar kalium.

Bij een spreidingsbreedte van  $2,5 \times s$  aan weerszijden van de curve heeft men bij 121 vrijheidsgraden (berekend uit de analyses van 11 gronden à elk 12 waarnemingen) de kans, dat door het toeval gemiddeld slechts 1,5 % ( $P = 0,015$ ) van het totale aantal waarnemingen buiten de aangegeven grenzen zal vallen (zie t-tabel van FISHER (1948)). Dit komt op 27 waarnemingen overeen met slechts een halve uitval.

standaardafwijking vallen. Daaruit volgt dat tussen de beide genoemde grootheden weinig verband bestaat.

*Natte- en droge kalifixatie t.o.v. de hoeveelheid  $K_2O$  oplosbaar in 0,1 N HCl bij schudden (K-HCl-cijfer) (zie figuur 5)*

Op analoge wijze als in het voorgaande zijn in figuur 5 de uitkomsten weergegeven van de hierboven genoemde grootheden. De standaardafwijking bij de bepaling van de hoeveelheid  $K_2O$ , oplosbaar in 0,1 N HCl bij schudden gedurende 1 uur, werd hier gelijk gesteld aan die van de bepaling van de hoeveelheid uitwisselbaar kalium.

Uit figuur 5A blijkt, dat in dit geval de hoeveelheid  $K_2O$ , oplosbaar in 0,1 N HCl, bij een gehalte groter dan 0,025 % geen informatie meer geeft over de grootte van de natte fixatie (zie het nagenoeg horizontale verloop van de curve). Enkel bij een lager gehalte tonen beide grootheden een covariatie. Waar in dit gebied echter 2 à 3 punten buiten het spreidingsgebied liggen, is de hoeveelheid  $K_2O$  oplosbaar in 0,1 N HCl waarschijnlijk niet geheel afhankelijk van de grootte van de natte fixatie.

Uit figuur 5B, waar de hoeveelheid in 0,1 N HCl oplosbaar  $K_2O$  wordt vergeleken met de droge fixatie, blijkt dat ongeveer de helft van de punten ligt buiten de spreidingsbreedte van  $5 \times$  de standaardafwijking. Daaruit volgt, dat de hoeveelheid  $K_2O$ , welke in 0,1 N HCl oplost, niet in rechtstreeks verband staat met de grootte van de droge fixatie.

CHAMINADE (1936b, c) nam waar, dat bij bemesting van een K-fixerende grond met opklimmende hoeveelheden kalium, de hoeveelheid uitwisselbaar kalium pas aanmerkelijk steeg nadat een zekere drempelwaarde = „seuil de rétrogradation” was overschreden. Deze lag bij ca 4 % van de adsorptiecapaciteit van de grond.

In het volgende is nu voor de hierbovengenoemde zwak zuur tot zwak alkalisch reagerende gronden met nagenoeg eenzelfde gehalte aan humus en fractie  $< 2 \mu$  (zie tabel 4), ook nog de natte en droge fixatie vergeleken met de hoeveelheid uitwisselbare  $K^+$ -ionen, uitgedrukt in het percentage van de kationenwaarde.

#### 4. DE NATTE EN DROGE KALIFIXATIE T.O.V. DE HOEVEELHEID UITWISSELBAAR KALIUM IN PROCENTEN VAN DE TOTALE HOEVEELHEID UITWISSELBARE KATIONEN

In figuur 6 is voor bovengenoemde grootheden het resultaat op dezelfde wijze weergegeven als hierboven is uiteengezet.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> De standaardafwijking van het quotient van 2 grootheden resp. A en B elk behept met een zekere standaardafwijking resp.  $s_A$  en  $s_B$  bedraagt zoals bekend

$$\frac{\sqrt{A^2 s_B^2 + B^2 s_A^2}}{B^2}$$

De hoeveelheid uitwisselbaar  $K_2O$  bedraagt gemiddeld 0,39 m.e./100 g en de totale hoeveelheid uitwisselbare kationen gemiddeld 24,4 m.e./100 g. De standaardafwijking van het quotient voor het percentage aan uitwisselbare  $K^+$ -ionen op totaal hoeveelheid uitwisselbare kationen wordt, bij aanname dat de standaardafwijkingen hier resp. 0,08 m.e./100 g ( $5 \times s = 0,4$  m.e./100 g) en 0,013 m.e./100 g ( $5 \times s = 0,003$  %) bedragen, derhalve uitgedrukt in %

$$= 100 \times \frac{\sqrt{0,39^2 \times 0,08^2 + 24,4^2 \times 0,013^2}}{24,4^2} = 0,054 \%$$

De standaardafwijking van de natte en droge K-fixatie bedraagt resp. 2,8 % en 2,5 %. De schalen van de assen, waarop de betreffende waarnemingen moeten worden uitgezet, verhouden zich derhalve als 2,8 : 0,054 ofwel als 52 : 1 voor de natte fixatie t.o.v. het % aan uitwisselbaar kalium op totale hoeveelheid uitwisselbare kationen.

Voor de droge fixatie t.o.v. het % aan uitwisselbare  $K^+$ -ionen op totale hoeveelheid uitwisselbare kationen wordt de verhouding van de assen als 2,5 : 0,054 ofwel als 46 : 1.

Na het trekken van de curve door de puntenstroom<sup>1</sup> is ook in dit geval ter weerszijden ervan met een streeplijn aangegeven de toelaatbare variatiebreedte bij een waarschijnlijkheid van 98,5 % ( $P = 0,015$ ).

Uit figuur 6A waarbij de natte fixatie wordt vergeleken met de hoeveelheid uitwisselbare  $K^+$ -ionen in procenten van de in totaal aanwezige uitwisselbare kationen, blijkt dat in de figuren zowel een horizontaal als verticaal gedeelte voorkomt. In deze trajecten geven de resultaten van de ene bepalingmethode derhalve geen informatie over die van de andere.

Tussen deze beide gedeelten ligt een klein traject waar wel covariaties in de punten optreden. Enkele ervan vallen buiten de ingetekende spreidingsbreedte van  $P = 0,015$ . We krijgen hier dus het geval dat, terwijl de gehele puntenzwerm op enige covariatie wijst tussen natte K-fixatie en uitwisselbare  $K^+$ -ionen op totaal uitwisselbare kationen, de resultaten in feite echter afkomstig zijn van twee vrijwel onafhankelijke, elkaar (bijna geheel) uitsluitende grootheden. Dit wijst erop, dat er geen rechtstreeks verband bestaat tussen beide chemische bepalingen. Echter kunnen ze elkaar voor bepaalde doeleinden misschien aanvullen. Beneden 2 % uitwisselbare  $K^+$ -ionen, betrokken op de in totaal aanwezige uitwisselbare kationen, biedt nl. de natte fixatiemethode mogelijkheden, terwijl beneden 20 % natte fixatie de bepaling van het percentage aan uitwisselbare  $K^+$ -ionen, betrokken op de totale hoeveelheid uitwisselbare kationen, voor een of ander doel nuttig kan zijn.

In figuur 6B is het resultaat weergegeven van de droge fixatie t.o.v. de hoeveelheid uitwisselbare  $K^+$ -ionen, betrokken op de in totaal aanwezige uitwisselbare kationen. Uit de figuur blijkt, dat ongeveer de helft van de punten buiten de aangegeven spreidingsbreedte van  $2\frac{1}{2} \times$  de standaardafwijking aan weerszijden van de curve vallen. Hieruit volgt, dat er geen absolute afhankelijkheid bestaat tussen de beide geanalyseerde grootheden.

##### 5. DE NATTE EN DROGE KALIFIXATIE T.O.V. DE HOEEVEELHEID UITWISSELBAAR KALIUM IN PROCENTEN VAN DE KATIONENWAARDE

In figuur 7 is voor bovengenoemde grootheden het resultaat op dezelfde wijze weergegeven als hiervoren is uiteengezet.<sup>2</sup>

Uit figuur 7A, waarbij de natte fixatie is vergeleken met de hoeveelheid uitwisselbaar kalium in % van de kationenwaarde, blijkt dat ook in dit geval de curve aan de beide uiteinden vrijwel recht is (horizontaal en verticaal). Daartussen bevindt zich slechts een klein traject,

<sup>1</sup> Teneinde niet in onoverzichtelijke figuren te vervallen werden deze grote verschillen in de verhoudingen der schalen op 2 wijzen opgevangen. Eerst werd op de gebruikelijke wijze een verhouding van 1 : 20 aangebracht tussen de schaal van de ordinaat en de abscis. Vervolgens werden de resterende verschillen in de schaalverhoudingen opgevangen door een elliptische in plaats van een bolvormige foutenfiguur te construeren. Het laatste geschiedde met behulp van een ellipsmodel, waarbij de spreidingsbreedten dusdanig werden vastgesteld, dat ze overeenstemmen met een schaalverhouding van resp. 2,6 : 1 en van 2,3 : 1.

<sup>2</sup> De hoeveelheid uitwisselbaar  $K_2O$  bedraagt gemiddeld 0,39 m.e./100 g en de totale hoeveelheid uitwisselbare kationen gemiddeld 22,4 m.e./100 g. De standaardafwijking van het quotient van het percentage uitwisselbare  $K^+$ -ionen op de totale hoeveelheid uitwisselbare kationen wordt bij aannname, dat ook hier de standaardafwijkingen resp. 0,08 m.e./100 g en 0,013 m.e./100 g bedragen =

$$100 \times \frac{\sqrt{0,39^2 \times 0,08^2 + 22,7^2 \times 0,013^2}}{22,7^2} = 0,058\%$$

De schalen van de assen waarop de betreffende waarnemingen worden uitgezet verhouden zich hier derhalve als  $\frac{2,8}{0,058} = 48:1$  voor de hoeveelheid uitwisselbaar kalium in % van de kationenwaarde

t.o.v. de natte fixatie en als  $\frac{2,5}{0,058} = 43:1$  voor idem t.o.v. de droge fixatie.

waar veranderingen in de ene grootheid ook veranderingen medebrengen in de andere grootheid. Hoewel hier in dit kleine traject praktisch alle punten binnen de spreidingsbreedte vallen, moet echter gezien het overige verloop van de kromme, geconcludeerd worden dat er geen absolute afhankelijkheid bestaat tussen enerzijds de natte fixatie en anderzijds de hoeveelheid kalium in % van de kationenwaarde.

In figuur 7B is de droge fixatie vergeleken met de hoeveelheid uitwisselbaar kalium in % van de kationenwaarde. Daaruit blijkt, dat ongeveer de helft van de punten buiten de spreidingsbreedte van  $2,5 \times$  de standaardafwijking ter weerszijden van de curve ( $P = 0,015$ ) valt. Een grote afhankelijkheid tussen de resultaten van beide grootheden is derhalve ook in dit geval wel zeer onwaarschijnlijk.

Uit bovenstaande gegevens blijkt derhalve duidelijk, dat er geen sprake van is dat er, althans bepaald volgens de droge K-fixatiemethode, geen  $K^+$ -ionen meer zouden worden gefixeerd na een zeker punt van verzadiging, zoals door CHAMINADE (1936) wordt verondersteld. Deze veronderstelling is verder ook daarom onwaarschijnlijk doordat immers de hoeveelheid uitwisselbaar kalium wordt bepaald door de hoeveelheid  $K^+$ -ionen gebonden aan al het „actieve” (basen uitwisselende) materiaal in de grond, terwijl daarentegen de sterkte van de K-fixatie enkel wordt bepaald door het gehalte aan ammersooiet van de fractie  $< 2 \mu$ . En tussen deze beide grootheden bestaat volgens ons onderzoek geen rechtstreeks verband (zie Hfdst. III, 2). Wel kan worden gezegd, dat uit de verschillende figuren, zomede uit de spreiding van de punten in deze figuren, duidelijk naar voren komt, dat er meer samenhang bestaat tussen de hoeveelheid uitwisselbare  $K^+$ -ionen in het adsorptiecomplex en de natte fixatie, dan tussen deze uitwisselbare  $K^+$ -ionen en de droge fixatie. Verder blijkt uit de figuren, dat er bij een gehalte aan ca 2 % uitwisselbare  $K^+$ -ionen, betrokken op de in totaal aanwezige hoeveelheid uitwisselbare kationen of betrokken op de kationenwaarde, praktisch geen  $K^+$ -ionen meer door de grond worden gefixeerd, bepaald volgens de natte K-fixatiemethode.

Bovenstaande conclusies gelden echter niet voor sterk K-fixerende gronden welke, zoals op het proefveld „De Lange Ossekampen” het geval is, zeer zwaar met kalium zijn bemest. Immers in dit geval worden, zoals uit tabel 5 blijkt, nog belangrijke hoeveelheden kalium gefixeerd, bepaald volgens de natte methode, bij zelfs 5 % en nog hogere percentages voor uitwisselbaar kalium, betrokken op de in totaal aanwezige hoeveelheid uitwisselbare kationen respectievelijk op de kationenwaarde.

Tevens blijkt uit de cijfers, dat ook nog bij zeer hoge waarden voor  $K-HCl = > 0,100$  %, nog tamelijk wat kalium kan worden gefixeerd, in het bijzonder wanneer dit wordt bepaald volgens de droge K-fixatiemethode.

De in tabel 5 genoemde gronden hebben ongeveer hetzelfde adsorptievermogen als die welke in de figuren 4 t/m 7 zijn verwerkt (zie ook tabel 4). Ook hun reactie (pH) is dezelfde (zwak zuur tot zwak alkalisch). Ze kunnen derhalve wel met de laatste worden vergeleken, vooral wanneer het gaat om het aantonen van zeer grote verschillen. Doet men dit dan blijkt, dat vele van de in tabel 5 voor het proefveld „De Lange Ossekampen” gevonden uitkomsten (punten) geheel vallen buiten de getrokken curven met de daarbij getekende spreidingsbreedten van de figuren 4 t/m 7. Dit wijst er wel op, dat verschillende van de hiervoor reeds gevonden uitzonderingen (punten die buiten de getrokken spreidingsbreedten vallen) reëel zijn (behoudens een kans van 1,3 % op toevallige analysefouten). Ook is dit, hoewel met een grotere kans op toevallige analysefouten, nog het geval met diverse punten welke binnen de getekende spreidingsbreedte vallen, doch welke niet precies liggen op de getekende curve, die het eigenlijke verband zou aangeven. Waar gebleken is dat de hypothese onhoudbaar is, dat de puntenzwerm bepaald wordt door een lijn plus een foutenspreiding, is er geen reden om de afstanden tussen de punten en de lijn als analysefouten te beschouwen. De ingetekende lijnen



kunnen uit de figuur worden verwijderd en rond elke punt kan men een cirkelvormige foutenfiguur denken.

Het bovenstaande is er wel een mooi voorbeeld van, dat volgens mathematisch-grafische weg verkregen samenhangen met voorzichtigheid gehanteerd moeten worden. Men leze hieromtrent hetgeen op blz. 10 werd opgemerkt.

Van een eenvoudig snel zich instellend evenwicht tussen uitwisselbare en gefixeerde  $K^+$ -ionen is derhalve geen sprake. Dit bleek ook uit proeven welke in het Landbouwscheikundig laboratorium te Wageningen zijn genomen, waarbij een sterk K-fixerende grond vooraf met opklimmende hoeveelheden van een KCl-oplossing werd behandeld, waarna de hoeveelheid uitwisselbaar kalium en de K-fixatie werden bepaald.<sup>1</sup> Verder uit het feit dat WIKLANDER (1950) geen omwisseling van enige betekenis kon vinden, indien een vooraf met gewone  $K^+$ -ionen ( $K^{42}$ ) verzadigde grond gedurende 14 uren werd behandeld met radioactieve  $K^+$ -ionen ( $K^{42}$ ) uit een  $K_2CO_3$ -oplossing bij  $87^\circ C$ .

<sup>1</sup> Mededeling van Prof. Dr A. C. SCHUFFELEN (Wageningen).

## IV. DE HOEEVEELHEID KALIUM WELKE DOOR DE GROND UIT DE TOEGEDIENDE BEMESTING IS OPGENOMEN

### 1. UITWISSELBAAR KALIUM

In tabel 6 is voor een groot aantal proefvelden de toename berekend van de hoeveelheid uitwisselbaar kalium in procenten van de hoeveelheid kalium welke werd aangewend. Uit de cijfers blijkt, dat tot ca 26 % van de totale hoeveelheid kalium, welke in de mest werd toegediend, in de grond is weer te vinden in uitwisselbare vorm. Tussen de toename in uitwisselbaar kalium en het fixatievermogen van de grond bestaat weinig verband. Dit was ook wel te verwachten, daar de granulaire samenstelling, de totale hoeveelheid adsorptiecomplex en haar aard (gehalte aan ammersociet t.o.v. gehalte aan illiet) op de verschillende gronden sterk van elkander afwijken. Uiteraard zal verder van de in totaal toegediende hoeveelheid kalimest percentsgewijs méér naar lagen dieper dan 25 cm uitspoelen, naarmate in totaal méér kalium werd aangewend en vooral méér kalium per jaar werd toegediend.

### 2. KALIUM OPLOSBAAR IN 0,1 N HCl

Uit de cijfers van tabel 6 blijkt, dat gewoonlijk wat méér kalium oplosbaar in 0,1 N HCl is terug te vinden van de totale hoeveelheid kalium welke werd toegediend, dan bij uitwisselbaar kalium het geval blijkt te zijn. De oorzaak ervan is, dat bij het schudden van een grond met 0,1 N HCl naast uitwisselbaar kalium ook gefixeerd kalium wordt opgelost.

Ook in dit geval bestaat er, in analogie met het sub 1 vermelde, weinig verband tussen kalifixatie bepaald volgens de natte en de droge methode enerzijds en de hoeveelheid kalium oplosbaar in 0,1 N HCl teweeggebracht door de gegeven bemesting anderzijds.

### 3. GEFIXEERD KALIUM

Teneinde te weten te komen, hoeveel kalium door de verschillende gronden uiteindelijk uit de gegeven bemesting is gefixeerd, werd van de proefveldmonsters een totaalanalyse gemaakt. Overwegend die proefvelden werden onderzocht, waar in de loop der jaren meer dan 2000 kg  $K_2O$ /ha was toegediend. Verder als tegenstelling óók enkele, waar minder dan 1000 kg  $K_2O$ /ha was gegeven.

De resultaten van dit onderzoek zijn in tabel 7 vermeld. Daarin is ook aangegeven de toelaatbare variatie ( $5 \times \sqrt{2} \times$  de standaardafwijking van de enkele waarneming) in kg  $K_2O$ /ha voor het verschil tussen bemeste- en onbemeste grond als gevolg van de analysefout bij de bepaling van het totaal  $K_2O$ -gehalte in de grond. Verder is in deze tabel nog aangegeven de toelaatbare variatie ( $5 \times \sqrt{2} \times s$ ) in kg  $K_2O$ /ha welke wordt veroorzaakt door een ongelijk gehalte aan fractie  $< 2 \mu$ . Tenslotte is in deze tabel vermeld de uiteindelijk nog toelaatbare variatie in kg  $K_2O$ /ha tussen de bemeste en onbemeste grond na correctie voor de analysefout bij de totaal  $K_2O$ -analyse ( $5 \times \sqrt{2} \times s = 2520$  kg  $K_2O$ /ha) en de variatie van de analysefout bij de bepaling van de hoeveelheid fractie  $< 2 \mu$ . De laatste bedraagt 147 tot 336 kg  $K_2O$ /ha ( $5 \times \sqrt{2} \times s$ ) al naar gelang de onderzochte grondsoort. Het verschil in kaligehalte tussen de fractie  $< 2 \mu$  en de fractie  $> 2 \mu$  is immers in de ene grond groter dan in de andere grond.

Uit de cijfers van tabel 7 blijkt, dat als gevolg van de grote correcties welke moesten worden aangebracht, het verschil tussen bemeste en onbemeste grond behept is met een spreiding van ca 2600 kg  $K_2O$ /ha voor  $5 \times \sqrt{2} \times$  de standaardafwijking (betrouwbaarheid = 98,7 %) van de enkele waarneming. Het gevolg ervan is, dat alleen met grote onzekerheid kan worden

vastgesteld hoeveel er door de betreffende gronden in de loop der jaren uit de toegediende kalimest wordt gefixeerd. Wel kan gezegd worden dat dit in de meeste gevallen wel niet veel geweest zal zijn en dat het alleen bij enkele sterk K-fixerende, zwaar en langdurig bemeste proefvelden hoogstens 1000 à 2000 kg  $K_2O/ha$  zal hebben bedragen.

Gerekend over alle proefvelden, gelegen op rivier- en zeekleigronden, komt men tot de volgende cijfers. Het gemiddelde verschil tussen bemest en onbemest bedraagt (gecorrigeerd op uitwisselbaar  $K_2O$  en op ongelijkheid van de fractie  $< 2\mu$ ) = 417  $K_2O/ha$ . Dit verschil is behept met een standaardafwijking van het gemiddelde van 357  $kg K_2O/ha^1$ ; derhalve is het onbetrouwbaar ( $P = 0,27$ ).

Aan bovenstaande conclusie moet echter weinig betekenis worden toegekend. Immers de analysecijfers zelve zijn met een grote standaardafwijking ( $s = 520$   $kg K_2O/ha$ ) behept en het totaal aantal waarnemingen is slechts gering = 12. We kunnen nu hetgeen door de gronden in de verschillende proefvelden aan kalium is gefixeerd wel ten naaste bij berekenen uit het verschil in droge fixatie tussen bemeste en onbemeste gronden. Bij de bepaling van de droge fixatie wordt immers enkel een evenwicht bereikt. Daaruit blijkt, dat als gevolg van de toegediende bemesting de droge fixatie gemiddeld met 13,3 % gedaald is in de loop der jaren. Dit verschil, dat overeenkomt met 369  $kg K_2O/ha$ , is behept met een standaardafwijking van het gemiddelde  $s_{md}$  van 3,4 %, ofwel overeenkomend met 102  $kg K_2O/ha$ . Het verschil tussen bemest en onbemest is hier derhalve wel betrouwbaar. In de loop der jaren werd op de hier bovengenoemde 12 proefvelden gemiddeld 3922  $kg K_2O/ha$  aangewend. Deze mest gaf een toename aan uitwisselbaar kalium in de bemeste vakken van gemiddeld 402  $kg K_2O/ha$  ( $s_{md} = 191$   $kg K_2O/ha$ ). Ook de hoeveelheid kalium, welke gemiddeld door deze proefvelden is gefixeerd, bedraagt slechts een zeer gering gedeelte van hetgeen gemiddeld in totaal aan kalimest is gegeven.

We kunnen nu aan de hand van de gegevens van de verschillende proefvelden en de oogst-balans nagaan, waar het toegediende kalium is gebleven. Daarbij blijkt dat in de zware kleigrond van Nw Beerta, welke in de loop der jaren 10500  $kg K_2O/ha$  ontving à jaarlijks 477  $kg K_2O/ha$ , slechts 2040  $kg K_2O/ha$  is terechtgekomen in uitwisselbare vorm = 19 %. Nemen we nu aan, dat in het bemeste object per jaar ca 100  $kg K_2O/ha$  méér kalium in de oogst is terechtgekomen dan in het onbemeste object (hogere opbrengsten, luxe consumptie), en dat door de gewassen van het onbemeste object per jaar nog gemiddeld het zeer ruime bedrag van 40  $kg K_2O/ha$  méér kalium uit directe afbraak (aantasting) van bodemmineralen is opgenomen dan door de gewassen van het bemeste object (dit is berekend over 22 jaren tezamen 3080  $kg K_2O/ha$ ), dan blijkt er van de totale hoeveelheid kalium welke in de loop der jaren op deze weinig K-fixerende kleigrond (natte fixatie = 11 %, droge fixatie = 38 %) werd toegediend als we fixatie van kalium verwaarlozen, liefst 5380 (10500–2040–3080)  $kg K_2O/ha$  of wel = 51 % naar diepere lagen dan 25 cm uitgespoeld te zijn.

Voert men eenzelfde berekening uit voor het tamelijk K-fixerende proefveld te Bellingwolde (natte fixatie = 43 %, droge fixatie = 64 %), dat in totaal 8150  $kg K_2O/ha$  ontving in 22 jaren (gemiddeld per jaar 370  $kg K_2O/ha$ ), dan komt men, indien wordt aangenomen dat hier ook nog 1000  $kg K_2O/ha$  door de grond werd gefixeerd (zie tabel 7), op een uitspoeling van ca 44 % naar diepere lagen dan 25 cm (57 % zonder K-fixatie).

<sup>1</sup> De standaardafwijking  $s_{md}$  van het verschil ( $x_1 - x_2$ ) van een aantal ( $n$ ) van steeds 2 bij elkander behorende waarnemingen (in dit geval de bemeste en de onbemeste grond van 1 proefveld) bedraagt:

$$s_{md} = \sqrt{\frac{\sum (x_1 - x_2)^2 - \frac{[\sum (x_1 - x_2)]^2}{n}}{n(n-1)}}$$

HUDIG (1929)<sup>1</sup> (1941)<sup>2</sup> wees jaren geleden reeds op het feit, dat volgens de statistieken van suiker- en aardappelmeelfabrieken hier te lande, het rendement van de toegediende kalimest meestal bedroevend laag is. VAN DER PAAUW (1936) vond bij een 3-jarige kaliproef op een humus-arme zandgrond een verlies van 65 % en 58 % naar diepere lagen dan 32 cm bij aanwending van resp. 500 en 250 kg  $K_2O/ha$ . Daarentegen was bij een 4-jarig proefveld, gelegen op nieuwe dalgrond met een ondergrond van ca 75 % humus vanaf 10 cm, de uitspoeling naar diepere lagen dan 30 cm slechts 5 % en nihil % bij aanwending van resp. 300 en 180 kg  $K_2O/ha$ . Verder bleek (1942) ook nog, dat het naar diepere lagen uitgespoelde kalium door gewassen kan worden benut, indien daarin wortels voorkomen. Het uitspoelen van kalium naar de ondergrond bij een zandgrond en een nieuwe dalgrond, werd zeer duidelijk langs chemische weg aangetoond door DE VRIES en HETTERSCHIJ (1942) aan de hand van kaligetal-cijfers afkomstig uit opeenvolgende grondlaagjes.

Ook de uitkomsten van de hier onderzochte hoegenaamd niet K-fixerende lichte zand-, es- en dalgronden, wijzen op een grote uitspoeling van kalium naar de ondergrond indien bij de bemesting veel kalium wordt aangewend. Zo kwam te Lutte van de 4560 kg  $K_2O/ha$ , welke hier in de loop van de 19 jaren zijn toegediend (elk jaar gemiddeld 240 kg  $K_2O/ha$ ), slechts 300 kg  $K_2O/ha$  terecht in uitwisselbare vorm. Nemen we verder aan, dat als gevolg van de jaarlijkse bemesting door het gewas (hier in hoofdzaak granen) ca 75 kg  $K_2O/ha$  méér kalium aan de grond wordt onttrokken en dat door de gewassen van het onbemeste object per jaar nog gemiddeld 25 kg  $K_2O/ha$  méér kalium uit directe afbraak van bodemmineralen is opgenomen, dan is dit over 19 jaren gerekend 1900 kg  $K_2O/ha$ . Aldus ging op deze zandgrond, welke jaarlijks gemiddeld 240 kg  $K_2O/ha$  ontving, 2360 kg  $K_2O/ha$  naar diepere lagen dan 25 cm verloren d.i. gelijk aan 52 % van de totaalhoeveelheid kalium welke als mest aan de grond was toegediend. Voert men eenzelfde berekening uit voor de proefvelden te Marum en Borgercompagnie, welke gedurende resp. 9 en 10 jaren resp. gemiddeld 294 en 198 kg  $K_2O/ha$  per jaar ontvingen, dan blijkt dat hier van het toegediende kalium, in totaal resp. 2650 en 1980 kg  $K_2O/ha$ , resp. 52 % en 33 % is uitgespoeld naar diepere lagen dan 0-25 cm.

Proefvelden, welke per jaar een geringere hoeveelheid kalimest ontvingen, geven een gunstiger beeld voor het percentage dat naar de ondergrond verdwijnt. Uiteraard is hier de hoeveelheid kalium, welke uit de toegediende mest door meeropbrengst en luxe consumptie in het gewas is terecht gekomen, ook veel geringer. Stellen we dit voor de klei- en zandgronden op het nog zeer ruime bedrag van resp. 70 en 50 kg  $K_2O/ha$ , dan geeft dit voor de zeeklei te Scheemda, welke gedurende 22 jaren gemiddeld 184 kg  $K_2O/ha$  ontving = 14 % (0 % indien nog een K-fixatie van 1000 kg  $K_2O/ha$  wordt aangenomen - zie tabel 7) uitgespoeld naar diepere lagen dan 25 cm. Voor de zandgrond te Drachten, welke gedurende 26 jaren gemiddeld 121 kg  $K_2O/ha$  ontving, komt men op 32 % en voor de zandgrond te Hooghalen, welke gedurende 22 jaren gemiddeld slechts 94 kg  $K_2O/ha$  ontving, wordt het = 0 %.

Uit dit alles blijkt wel duidelijk, dat het aanleggen van een kalivoorraad in de grond slechts kan geschieden ten koste van grote verliezen aan kalium door uitspoeling naar de ondergrond. Het is echter een kwestie van calculatie of deze werkwijze al dan niet verant-

<sup>1</sup> Blz. 15. „Ik mocht er bij verschillende gelegenheden op wijzen dat er een zonderlinge tegenstelling bestaat tussen de organisatie in de kunstmestindustrie en die in het landbouwbedrijf. In de eerste wordt door een goed toegepaste bedrijfscontrole uit de grondstoffen een zo hoog mogelijk rendement van het eindproduct verlangd, opdat het verlies zo gering mogelijk zij (bij de synthetische stikstofindustrie is men daarbij al over de 90 % gekomen), maar nauwelijks is dit eindproduct op de boerderij aangekomen en zelf grondstof geworden of alles is anders.”

<sup>2</sup> Blz. 6. „Men mag blij zijn wanneer de voedingsbestanddelen die de boer op zijn land brengt voor 50 % in de oogst worden teruggevonden. Meestal is het lager of zelfs veel lager, zodat men op gemiddeld 30 % bedacht moet zijn.”

woord is, indien ze samengaat met een hogere opbrengst van het gewas.

Tenslotte werd nog een totaalanalyse gemaakt van de fractie  $< 2 \mu$  van de onbemeste en de bemeste grond van het proefveld te Ammerzoden. Van alle onderzochte proefvelden fixeert de onbemeste grond van Ammerzoden het sterkst kalium, nl. 61 % bepaald volgens de natte methode en 84 % bepaald volgens de droge methode. De röntgenopname van deze fractie wees verder uit – zie TEMME en VAN DER MAREL (1953) – dat ze praktisch geheel bestaat uit illiet met roosterplaten, welke zich kunnen samentrekken bij aanwezigheid van ionen met een hoge polariseerbaarheid, zoals het  $K^+$ - en het  $NH_4^+$ -ion (amersooiet). Zie ook plaat I, nos 6 en 7. Het resultaat van de totaalanalyses, waarbij nog correcties zijn aangebracht voor de analysefout voor de totaalanalyse zomede voor die van de hoeveelheid fractie  $< 2 \mu$ , zijn vermeld in tabel 8. Aan de hand van de gecorrigeerde totaalanalyses werd daarop berekend hoeveel  $kg K_2O/ha$  door de bemeste gronden zelf was gefixeerd. Bij deze berekening werd aangenomen, dat enkel de fractie  $< 2 \mu$  kalium zou hebben vastgelegd. Dit is in feite praktisch ook het geval, daar deze fractie bijna geheel bestaat uit K-fixerende illiet = amersooiet. Verder werden in de grovere fracties van de gronden afkomstig van het proefveld Ammerzoden geen K-fixerende mineralen zoals vermiculiet of glauconiet aangetroffen. Uit de berekeningen blijkt, dat volgens chemische analyse bij een bouw-voordiepte van 0–25 cm in het matig en in het zwaar bemeste object resp. 1500 tot 2000  $kg K_2O/ha$  en 2000 tot 2400  $kg K_2O/ha$  in de grond is achtergebleven uit de toegediende bemesting in de vorm van gefixeerd kalium + méér uitwisselbaar kalium. Het matig en zwaar bemeste object ontvingen gemiddeld per jaar resp. 140 en 290  $kg K_2O/ha$  en in totaal resp. 3210 en 6670  $kg K_2O/ha$ .

Hier tegenover staat, dat voor bovengenoemde objecten werd gevonden volgens de kalioogstbalans resp. 2100 tot 2200 en 4900 tot 5100  $kg K_2O/ha$  voor niet door het gewas uit de bemesting opgenomen kalium. Bij het matig bemeste object wordt hetzelfde resultaat gevonden bij gefixeerd kalium + uitwisselbaar kalium berekend volgens het chemisch grondonderzoek als bij niet door het gewas uit de bemesting opgenomen kalium berekend uit de oogstbalans, d.i. gefixeerd kalium + uitwisselbaar kalium + eventueel naar de ondergrond uitgespoeld kalium. Daaruit volgt, dat er in het matig met kalium bemeste object nagenoeg geen kalium naar de ondergrond is uitgespoeld.

Bij het zwaar bemeste object daarentegen bedraagt het verschil ca 3000  $kg K_2O/ha$ , hetgeen wordt veroorzaakt door kalium uitgespoeld naar diepere lagen dan 25 cm + minder kalium opgenomen door de gewassen van het bemeste object uit bodemmineralen (aantasting) dan door de gewassen van het onbemeste object. Het laatste kan maximaal gesteld worden op ca 1000  $kg K_2O/ha$ , aangezien in het onbemeste object in totaal nog 1400  $kg K_2O/ha$  werd afgevoerd.<sup>1</sup>

Uit onderzoek van speciaal voor dit doel gestoken profielmonsters blijkt nu (zie tabel 9) dat ook in het sinds 23 jaren zwaar met kalium bemeste object (gemiddeld ca 290  $kg K_2O/jr$ ) hoofdzakelijk de 0–25 cm laag door de toegediende kalimest was verrijkt en niet de daaronder gelegen lagen. Derhalve zal uiteindelijk ongeveer 2000  $kg K_2O/ha$  (ca 30 % van de in totaal toegediende hoeveelheid kalimest) in deze lichte sterk K-fixerende rivierkleigrond (fractie  $< 2 \mu = 24,3 \%$ ) niet zijn geadsorbeerd of gefixeerd en naar diepere lagen dan 25 cm afgevoerd. Hier zij nog vermeld, dat VOLK (1934) bovenstaande werkwijze, waarbij wordt uitgegaan van het kaligehalte van de fractie  $< 2 \mu$  om te weten te komen hoeveel kalium door de grond zelf was gefixeerd, nu ongeveer 20 jaren geleden reeds toepaste op een langjarig (50 jaren) kaliproefveld, waar kleine grondverschillen tussen het onbemeste en het bemeste

<sup>1</sup> Zie voor nadere gegevens TEMME en VAN DER MAREL (1953).

object voorkwamen. Dit ook nadat aan hem tevoren, door onderzoek van de verschillende grondfracties afzonderlijk, was gebleken dat – althans bij de onderzochte grondsoort (Hagerstown silt loam) – praktisch al het kalium werd gefixeerd enkel door de fractie  $< 2 \mu$  uit die grond. Ook VOLK vond een goede overeenstemming tussen de hoeveelheid kalium welke door de grond was gefixeerd, berekend uit de toename in het kaligehalte van de fractie  $< 2 \mu$  en de hoeveelheid kalium, welke niet door het gewas was opgenomen vermeerderd met de toename in uitwisselbaar kalium. Uitspoeling van kalium werd door VOLK verwaarloosd, daar de betreffende grond slechts *zeer matig* met kalium was bemest = ca 126 kg  $K_2O/ha$  om het andere jaar.

In tabel 10 is tenslotte nog op overzichtelijke wijze aangegeven, wat door de onbemeste grond van het proefveld Ammerzoden wordt opgelost bij diverse achtereenvolgende extracties met zoutzuur, nadat deze vooraf op verschillende wijzen was behandeld met een oplossing van kaliumchloride (zie TEMME en VAN DER MAREL (1953)). Verder hetgeen door het matig (1K) en het zwaar (2K) bemeste object van dit proefveld werd gefixeerd, berekend uit de totaal-kalialyse van de fractie  $< 2 \mu$  van de betreffende gronden, zoals in tabel 8 is aangegeven.

Uit de cijfers blijkt, dat bij het schudden van de grond met een verzadigde KCl-oplossing, 510 tot 570 kg  $K_2O/ha$  wordt vastgelegd in een vorm welke door een zwak zuur (0,1 N HCl) wordt opgelost en 1440 tot 1560 kg  $K_2O/ha$  in een vorm welke oplosbaar is in 10 % HCl bij kamertemperatuur. Verder 1230 tot 2820 kg  $K_2O/ha$  in een vorm welke zeer moeilijk in zuren oplost. Het laatste is ongeveer gelijk aan hetgeen wordt gevonden in het zwaar bemeste object voor gefixeerd kalium, berekend uit de toename van het  $K_2O$ -gehalte van de fractie  $< 2 \mu$  na 23-jarige bemesting met telkenjare gemiddeld 290 kg  $K_2O/ha$  = 1900 tot 2300 kg  $K_2O/ha$ . Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat bij het droogdampen van de onbemeste grond met de geconcentreerde KCl-oplossing, 4440 tot 6330 kg  $K_2O/ha$  wordt gefixeerd in een vorm welke zeer moeilijk in zoutzuur oplost, d.i. beduidend méér dan op het proefveld Ammerzoden plaats vindt onder natuurlijke omstandigheden bij aanwending van de hoogste kaligift. De oorzaak van dit grote verschil is gelegen in het feit, dat de roosterplaten van de in de grond voorkomende K-fixerende illietsoort, tengevolge van het droogdampen met de KCl-oplossing, sterk worden samengetrokken onder insluiting van kalium. Uit het ammersooiet ontstaat dan illiet. Het in deze nieuwgevormde illiet ingesloten kalium is weinig toegankelijk voor zoutzuur, vooral als het zeer diep in het rooster ligt. Dit is van nature het geval bij het gewone niet K-fixerende illiet. In ons land komt de temperatuur onder natuurlijke omstandigheden echter slechts zelden boven de 35° C. Ook is de concentratie van de  $K^+$ -ionen in het bodemvocht – zelfs bij aanwending van 290 kg  $K_2O/ha$  per jaar – slechts zeer gering. Onder natuurlijke omstandigheden zal derhalve uit het ammersooiet slechts zeer langzaam illiet worden gevormd. Men kan dan ook in de praktijk waarnemen, dat dáár waar een oorspronkelijk sterk kalifixerende grond zwaar met kalium werd bemest, naast lage cijfers voor nattie fixatie, zeer hoge cijfers voor droge fixatie voorkomen. Dat is o.a. het geval op de proefvelden Ammerzoden en „De Lange Ossekampen” (zie ook onder Hfdst. III).

Gaan wij thans nog iets nader in op de mineralogische kant van het kalifixatieprobleem, dan is hierbij vooral van belang, dat de afgifte van  $K^+$ -ionen uit het illietrooster als gevolg van diverse extracties, ook röntgenologisch kan worden vervolgd. RIVIÈRE (1948) zag zo een verschuiving van de  $d = 10A^1$  illietlijn naar  $d = 14A^1$  bij behandeling van een illietklei met

<sup>1</sup> Deze lagere cijfers voor de afstanden van de roosterplaten van illiet en ammersooiet dan hier in dit artikel zijn vermeld = resp. 10,8 Å en 15,6 Å, worden veroorzaakt doordat bij de berekeningen geen correctie is aangebracht voor de dikte van het preparaat in de capillair tijdens de X-opname. Het verschil neemt toe naarmate de d-waarden groter worden (1950).

20 %  $\text{CaCl}_2$  gedurende 4 dagen. WHITE (1951) verkreeg een 14A. illiet d.i. dus ook in dit geval een illiet met open roosterplaten, door verhitting van de fractie  $< 0,2 \mu$  van een illietische klei met 20 % Na-cobaltnitriet. Door deze behandeling werd ongeveer 10 % van de totale hoeveelheid kalium, welke in de onderzochte illiet voorkomt, uitgetrokken. Het van elkander gaan (openen) van de roosterplaten van illiet onder invloed van chemicaliën kan men ook bij de Nederlandse gronden waarnemen. Dit blijkt bij de vergelijking van de X-opnamen nos 1, 6, 7 en 8 van plaat I. Daarbij is no 1 een opname van gewone (Fithian) illiet, no 6 een opname van illiet met open roosterplaten = ammersooiet ( $d = 15,6 \text{ \AA}$ .) en no 7 een opname van dit open illiet, doch vooraf behandeld met een geconcentreerde  $\text{KCl}$ -oplossing gedurende enkele dagen ( $d = 10,8 \text{ \AA}$ .). De roosterplaten van de laatste zijn gesloten net zoals bij gewone (Fithian) illiet ( $d = 10,8 \text{ \AA}$ .) het geval is. Als gevolg van een behandeling van de in no 7 genoemde gesloten illiet met een geconcentreerde  $\text{MgCl}_2$ -oplossing gedurende 2 dagen, zijn de platen zoals uit opname no 8 blijkt, voor een klein deel (i.e. van de allerfijnste kristallen welke het eerst worden aangetast) weer geopend. Het feit, dat zowel bij deze langs kunstmatige teweeggebrachte veranderingen, als in de gronden zelve altijd een 15,6 A. illiet wordt gevonden en nooit illieten met een plaatafstand welke varieert tussen 10,8 A. (gesloten) en 15,6 A. (open), wijst er wel op, dat bij het openen en sluiten eerst een zekere kracht moet worden overwonnen. Hiermede is tevens het feit verklaard dat er – zoals hiervoren reeds bij het chemisch onderzoek is vermeld – gronden voorkomen, welke naast een lage kalifixatie bepaald volgens de natte K-fixatiemethode, een hoge kalifixatie bezitten, wanneer dit wordt bepaald volgens de droge methode d.i. zwak + sterk gefixeerd kalium.

## V. BESCHOUWING OVER DE INVLOED VAN KALIFIXATIE OP DE GROEI VAN DIVERSE GEWASSEN

Het door de grond gefixeerde kalium is niet geheel voor de plant verloren. Integendeel, HOAGLAND (1933) toonde nl. reeds 20 jaren geleden aan, dat sterk kalifixerende gronden belangrijk méér niet uitwisselbaar kalium aan tomatenplanten kunnen afstaan, indien ze tevoren met kalium waren bemest. Enige jaren daarop vond CHAMINADE (1936-c) bij een Neubauer proef, dat haverkiemplantjes ca 16 tot 19 % konden bemachtigen van het vooraf door een grond gefixeerde kalium bij laten overstaan gedurende 2 maanden in een vochtig milieu met een KCl-oplossing. Verder toonde EVANS (1948) aan, dat door haver bij 4-malige beplantingen in de tijd van 9 maanden, 24 tot 47 % wordt teruggewonnen van de totale hoeveelheid kalium welke door de grond was gefixeerd (tot 59 % van het toegevoegde kalium) uit een oplossing van KCl bij drogen gedurende 14 dagen bij 80°. De door CHAMINADE en EVANS gevonden cijfers zijn gecorrigeerd voor de hoeveelheid uitwisselbaar en niet uitwisselbaar kalium, welke door de haver in dezelfde tijd uit de niet met kalium behandelde grond is opgenomen. De gevonden rendementen zullen waarschijnlijk in werkelijkheid nog hoger zijn, daar de haverplanten uit de onbemeste grond méér kalium opgenomen kunnen hebben uit bodemmineralen (door aantasting) dan uit de met veel kalium bemeste grond. Er werd door EVANS nog een verband gevonden tussen de hoeveelheid kalium, welke bij dit droogproces werd gefixeerd, en de hoeveelheid niet uitwisselbaar kalium, welke nadien aan de haver werd afgestaan. ATTOE (1949) vond in het gewas 76 tot 98 % (ongecorrigeerd) terug van de totale hoeveelheid kalium (maximaal = 1350 kg  $K_2O$ /ha), welke vooraf aan de grond (welke een fixatievermogen bezat van 31 tot 56 %) was toegediend. Hierbij werd 7 maal met haver geplant.

Tenslotte toonde YORK (1949) nog aan, dat het door een grond gefixeerde kalium, veroorzaakt door bekalking, geheel oplosbaar is bij extractie met  $NH_4$ -acetaat oplossing met een pH van 4,8. Dit gefixeerde kalium kon verder worden teruggewonnen in 5 lucerne-oogsten over een periode van 6 maanden. Ook uit het ondervolgende overzicht van diverse experimenten welke evenals de hierbovengenoemde met potproeven zijn verricht, is bekend, dat de plant onder bepaalde omstandigheden zeer wel in staat is om ook minder toegankelijk kalium dan uitwisselbaar kalium uit de grond op te nemen. De ene plant kan dit ook in sterkere mate doen dan de andere.

HOPKINS (1915) wees ca 37 jaar geleden op het feit, dat klaver nog ca 50 kg  $K_2O$ /ha uit de grond kan opnemen nadat deze vooraf gedurende 10 uren was gekookt met HCl à s.g. = 1,115 (22,7%). Nadien vond PORR (1931), dat raaigras bij een 11-jarige beplanting méér kalium uit de grond opnam, dan hetgeen uit diezelfde grond vóór de proef wordt opgelost bij extractie met 25% HCl. GEDROIZ (1931) nam in die zelfde tijd waar, dat een tchernosiom-grond (een z.g. „zwartaarde”) welke vooraf door percolatie met een oplossing van  $CaCl_2$  van zijn uitwisselbaar kalium was beroofd, bij beplanting met haver een goed gewas opleverde. Blijkbaar was deze grond wel zeer rijk aan mineralen, welke kalium kunnen naleveren. Volgens ABEL en MAGISTAD (1935) worden door sorghum en soja tot 75 à 100 kg  $K_2O$ /ha per jaar aan de grond onttrokken afkomstig uit niet omwisselbare vorm. MASCHHAUPT (1941, 1943) zag bij 15-jarige beplanting van een jonge Dollardklei met diverse gewassen praktisch geen daling van het gehalte aan kalium oplosbaar in 5% HCl. De onttrekking bedroeg hier inclusief het verlies in het drainwater 304 kg  $K_2O$ /ha per jaar (gewas = 246 kg  $K_2O$ /ha en drainwater = ca 58 kg  $K_2O$ /ha), ofwel in totaal = 4560 kg  $K_2O$ /ha. Verder werd in de bebouwde grond ca 3 × zoveel kiezelzuur afgevoerd met de oogsten en het drainwater als in de onbebouwde grond, nl. in totaal respect. 3960 en 1365 kg  $K_2O$ /ha. Blijkbaar heeft in deze grond niet alleen aanvulling van in 5% HCl oplosbaar kalium vanuit nog moeilijker oplosbaar kalium plaats gehad, doch ook directe afbraak van kalium uit bodemmineralen door plantenwortels. BEAR (1944) geeft aan 235 kg  $K_2O$ /ha voor 7 achtereenvolgende oogsten met lucerne gedurende 8 maanden. AYRES (1947) noemt voor het tropische



klimaat in Hawaii tot 3000 à 4000 kg  $K_2O$ /ha voor achtereenvolgende snitten van Napier-gras gedurende 4½ jaar. REITEMEIER (1948) geeft aan tot ca 100 kg  $K_2O$ /ha onttrokken door klaver gedurende 2 jaren. Verder bleek nog (1950) bij de uitputtingsproeven met rogge volgens de Neubauer methode, dat een vermindering van de hoeveelheid grond van 100 g tot 25 g in de bakjes, tot gevolg had een verhoging van de hoeveelheid onttrokken kalium door de plantjes met gemiddeld 84%. EVANS (1948) vermeldt tot 107 kg  $K_2O$ /ha en tot 68 kg  $K_2O$ /ha voor resp. klaver en haver gedurende 9 maanden. GHOLSTON (1949) en HOOVER (1949) vonden voor gierst tot 376 kg  $K_2O$ /ha bij 8 achtereenvolgende beplantingen gedurende 545 dagen. BRELAND (1950) vermeldt tot ca 800 kg  $K_2O$ /ha voor 8 achtereenvolgende klaveroogsten gedurende 493 dagen. Tenslotte vermeldt PRATT (1951) nog hoeveelheden tot 360 kg  $K_2O$ /ha welke door lucerne-oogsten in 10 maanden onttrokken waren aan de grond, die vooraf was behandeld met kokend  $NHNO_3$  gedurende 18 minuten.

Uiteraard hangt de hoeveelheid kalium, welke door de plant uit de grond wordt opgenomen uit de voorraad niet uitwisselbaar kalium, behalve van de aard van het verbouwde gewas, ook af van de soort grond i.e. van de soort kaliumhoudende mineralen welke daarin voorkomen, de mate waarop deze onder het heersende klimaat verweren en de sterkte waarop ze door de plantenwortel worden ontleed.

Het is thans gebruikelijk om in navolging van BEAR (1944) de nalevering van kalium aan de plant uit niet omwisselbare vorm aan te duiden met „the potassium supplying power” = „het kalinaleveringsvermogen” van de grond. REITEMEIER (1948) vond een nauw verband tussen het kalinaleveringsvermogen van verschillende gronden beplant met haver en de hoeveelheid  $K_2O$  welke uit de betreffende gronden werd vrijgemaakt door koken met  $NHNO_3$  gedurende 10 minuten. ROUSE (1950) en PRATT (1951) vonden eveneens een nauwe correlatie, doch dan met resp. klaver en lucerne en verder met de hoeveelheid niet uitwisselbaar  $K_2O$ , welke door bovengenoemde zuurextractie werd vrijgemaakt. Tenslotte kan nog worden vermeld, dat volgens BRAY (1939) en ATTOE (1947, 1949) de hoeveelheid uitwisselbaar kalium belangrijk kan worden vergroot bij lang laten staan van de grond in een vochtige toestand, ofwel door verhitten ( $200^\circ C$ ) of drogen ( $100^\circ C$ ) van de grond. Ook het bevriezen – hetgeen in zeker opzicht een droogproces is – geeft volgens FINE (1941) eenzelfde effect. Het kaliumnaleveringsvermogen van de grond zelf wordt door al deze maatregelen volgens ROUSE (1950) echter niet in zulk een sterke mate verhoogd.

Tenslotte vermelden wij in dit verband in tabel 11 de oogstresultaten van 5 proefvelden, welke zijn gelegen in de om hun hoge kalifixatie zo beruchte rivierkleien.<sup>1</sup> Tevens zijn in deze tabel nog vermeld de reeds eerder gepubliceerde – zie TEMME en VAN DER MAREL (1953) – grondanalysecijfers van de onbemeste en de bemeste gronden van de betreffende proefvelden.

Uit de verschillende gegevens blijkt, dat ondanks het zeer hoge kalifixatievermogen van sommige rivierkleigronden, toch nog een goede opbrengst mogelijk is bij suikerbieten, voederbieten, haver, tarwe en gerst; eventueel na aanwending van kali- of kalkmest. Ook op het langjarige (1928–1952) kaliproefveld van de N.V. Kali Import Mij. te Ammerzoden, waar de grond sterk kalium fixeert, heeft men, zoals door TEMME en VAN DER MAREL (1953) reeds is vermeld, eenzelfde ervaring opgedaan. Blijkbaar zijn al deze gewassen vrij ongevoelig voor het kalifixatieverschijnsel, hetgeen ook in de praktijk bekend is.

Hiermede in tegenstelling is echter, zoals door TEMME en VAN DER MAREL (1953) is aangegeven, de aardappelopbrengst slecht op de sterk kalifixerende gronden van de proefvelden te Ammerzoden en Kerkwijk (zie voor nadere gegevens TEMME en VAN DER MAREL (1953)).

Om de betekenis van de kalifixatie voor de groei van het gewas te kunnen beoordelen, moeten we met het volgende rekening houden:

De hoeveelheid kalium, die voor de plant uiteindelijk beschikbaar is, zal ook bij een  $K$ -fixerende grond groot zijn. Immers, er lossen tamelijk veel  $K^+$ -ionen, welke onder natuurlijke omstandigheden zijn gefixeerd, in een zwak zuur ( $0,1 N HCl$ ) op, terwijl uit het voorgaande blijkt, dat zelfs minerale kali door de plant kan worden opgenomen. Of deze gefixeerde  $K^+$ -ionen inderdaad door de plant kunnen worden opgenomen, hangt, behalve van de structuur,

<sup>1</sup> De verschillende gegevens werden ons welwillend afgestaan door de Rijkslandbouwconsulenten van Z. Gelderland (Tiel) en O. Gelderland (Zutphen) resp. Ir T. S. HUIZINGA en Ir S. KINGMA.

af van de verhouding der ionen in het substraat. Nu zal de activiteit van het  $K^+$ -ion in de bodemoplossing bij K-fixerende gronden laag zijn, daar de kans op een min of meer sterke binding van  $K^+$ -ionen door het in dit soort gronden veel voorkomende K-fixerende kleimineraal ammersooiet groot is. Indien nu ook nog het aantal  $Ca^{++}$ - en  $Mg^{++}$ -ionen in de bodemoplossing groot is, dan is de verhouding  $Ca^{++} + Mg^{++} : K^+$  hoog, waardoor de opname van  $K^+$ -ionen door de plant uit de bodemoplossing nog meer wordt bemoeilijkt.

Dit zal vooral tot uiting komen bij gewassen welke zeer kaligevoelig zijn. Uit het onderzoek van DRAKE (1951) blijkt nu, dat gewassen met een hoge adsorptiewaarde (T-waarde) van hun wortelsubstantie, zoals klaver, bruine bonen, erwten en aardappelen, veel gevoeliger zijn voor de  $Ca + Mg : K$  verhouding in de grond dan gewassen met een lage adsorptiewaarde zoals suikerbieten, haver, tarwe en grassen.

In een vorige publicatie – zie TEMME en VAN DER MAREL (1933) – werd aan de hand van de oogstopbrengsten van het sterk K-fixerende proefveld Ammerzoden reeds gewezen op het verschijnsel dat de aardappel, klaver en bruine boon, veel gevoeliger zijn voor een grote overmaat aan gemakkelijk opneembaar  $Ca + Mg : K$  in de grond dan suikerbiet en haver. Ook werd daarin vermeld, dat naarmate het blad in aardappel méér calcium + magnesium bevat, het kaliumgehalte ervan afneemt.

Dit alles wijst er dus wel op, dat het hoge kalifixerende vermogen van vele rivierkleigronden niet persé schadelijk behoeft te zijn voor het verkrijgen van een goede opbrengst bij landbouwgewassen met een oppervlakkig wortelstelsel.

Het hoge K-fixatievermogen van de rivierkleigronden zou in zeker opzicht zelfs voordelig genoemd kunnen worden. Immers, het toegediende kalium wordt in de bovengrond geconcentreerd en onder natuurlijke omstandigheden voor een groot deel slechts in een zodanig zwakke vorm gefixeerd (zie tabel 10) dat het door vele gewassen (haver, tarwe, gerst, suikerbieten etc.) voor een groot deel kan worden opgenomen. Verder wordt door de fixatie belet, dat kalium uit de mest naar de ondergrond uitspoelt. De grote betekenis van deze factor komt duidelijk tot uiting in de volgende gegevens over het sterk kalifixerende proefveld Ammerzoden.

Volgens weging en meting bedroeg de meerdere hoeveelheid  $K_2O$  welke op dit proefveld ten gevolge van bemesting met de hoogste kaligift in het gewas is terechtgekomen, berekend over een periode van 23 jaren, 1683 kg  $K_2O/ha$  (zie TEMME en VAN DER MAREL (1953), tabel 8). In totaal werd gedurende deze periode aan kalimest toegediend 6670 kg  $K_2O/ha$  (jaarlijks gemiddeld 290 kg  $K_2O/ha$ ). De hoeveelheid uitwisselbaar kalium nam op het betreffende proefobject slechts toe met 120 kg  $K_2O/ha$ . Uit deze cijfers laat zich berekenen, dat bij afwezigheid van de kalifixatie liefst 73 % van het totaal toegediende kalium naar diepere lagen dan 25 cm zou zijn uitgespoeld. Wordt echter rekening gehouden met de volgens analyse gevonden kalifixatie van ca 2000 kg  $K_2O/ha$  (zie tabel 7) dan is het verlies 43 %.<sup>1</sup> Deze optimistische opvatting over de gevolgen van het kalifixatieverschijnsel, welke vooral voor vlakwortelende landbouwgewassen hier in Nederland zou gelden, is overigens geheel in overeenstemming met die van verschillende buitenlandse onderzoekers o.a. CHAMINADE<sup>2</sup> (1936b, c), BLUME<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bij aanname dat door de gewassen van het onbemeste object per jaar nog gemiddeld het zeer ruime bedrag van 40 kg  $K_2O/ha$  méér aan kalium uit directe afbraak (aantasting) van bodemmineralen is opgenomen, dan door de gewassen van het bemeste object, wordt de uitspoeling naar diepere lagen respectievelijk 59 % (kalifixatie verwaarloosd) en 29 % (kalifixatie medegerekend).

<sup>2</sup> „On peut donc dire qu'un épandage tardif des engrais potassiques limite l'effect désavantageux du phénomène de la rétrogradation.”

<sup>3</sup> „K-fixation is more beneficial than harmful in that it tends to retain temporarily this element in an unleachable state, but eventually releases it into a water soluble form.”

(1939), DE TURK<sup>1</sup> (1943) en EVANS<sup>2</sup> (1948), welke reeds eerder de gevolgen van het kalifixatie-verschijnsel grondig bestudeerden en daarbij tot genoemde slotconclusie zijn gekomen. Voor diepwortelende planten, welke moeilijk het in de bovengrond geconcentreerde kalium kunnen bemachtigen, is een sterke kalifixatie op kali-arme gronden echter minder gunstig. Hier zal nl. voor het verkrijgen van een goede opbrengst de ontwikkeling van oppervlakkige wortels moeten worden bevorderd, ofwel met meer kalium moeten worden gemest dan bij niet K-fixerende gronden het geval is. Dit is o.a. het geval op de van oorsprong kali-arme, sterk kalifixerende gronden van de proefvelden in boomgaarden te Geldermalsen en te Wageningen („De Lange Ossekampen”).

Op het eerste werd door gebruik van stromulch, waarbij o.a. zoals algemeen bekend is (zie literatuur) de ontwikkeling van oppervlakkige wortels in droge jaren door de grotere vochtigheid sterk wordt bevorderd, een zeer gunstig effect verkregen. Op het laatste proefveld was een goede opbrengst enkel mogelijk na jarenlange toediening van zeer grote hoeveelheden kalimest. Uit het onderzoek van profielmonsters afkomstig van het proefveld „De Lange Ossekampen” blijkt nu, dat het toegediende kalium zeer sterk in de bovenste grondlaag (0–25 cm) werd vastgelegd (zie tabel 12). De betreffende vakken ontvingen nl. in de loop van 18 jaren in totaal 8217 kg  $K_2O/ha$  à gemiddeld 456 kg  $K_2O/ha$  jaarlijks. Hiervan werd, gerekend tot een diepte van 25 cm, 3905 kg  $K_2O/ha$  (47,5 % op totaal) vastgelegd in uitwisselbare vorm en  $4540 - 3905 = 635$  kg (7,7 % op totaal) in een gefixeerde vorm, welke door 0,1 N HCl bij kamertemperatuur wordt vrijgemaakt.

Daarentegen werd in de laag 25–100 cm van het hierbovengenoemde kalium slechts teruggevonden resp. 25 kg  $K_2O/ha$  (0,3 % op totaal) en 100 kg  $K_2O/ha$  (1,2 % op totaal). Het gefixeerde kalium, dat door het zwakke 0,1 N HCl wordt vrijgemaakt, is echter slechts een gedeelte van de totale hoeveelheid kalium welke door de grond is gefixeerd, d.i. niet uitwisselbaar tegen andere kationen uit neutraal of bijna neutraal reagerende gebufferde zoutoplossingen.

Een benaderende berekening van de hoeveelheid kalium, welke in de loop der jaren op dit proefveld is gefixeerd, geeft het volgende: Uit het verloop van de kaligehalten in de profielmonsters (zie tabel 12) blijkt, dat in deze zware, sterk K-fixerende kleigrond uit de toegediende bemesting slechts zeer onbeduidende hoeveelheden kalium naar nog diepere lagen dan 25 cm zijn doorgedrongen. Verder kan hetgeen in de loop van 16 jaren door appel- en perebomen is onttrokken voor opbouw en in de (afgevoerde) vruchten, gesteld worden op ca 1200 kg  $K_2O/ha$ . De totale hoeveelheid kalium, welke in de bouwvoor (0–25 cm) van dit proefveld is gefixeerd, wordt derhalve  $8217 - 3905 - 1200 = 3112$  kg  $K_2O/ha$ , ofwel = 38 %, betrokken op de totale hoeveelheid kalimest welke werd toegediend. Dit cijfer is slechts een weinig lager dan hetgeen voor de dienovereenkomstige laag van de met gemiddeld 290 kg  $K_2O/ha$  bemeste grond van het sterk K-fixerende proefveld te Ammerzoden werd gevonden, nl. 28 tot 34 %. De totale hoeveelheid kalium, welke op het laatste proefveld was toegediend, was echter ook wat geringer, nl. 6670 tegen 8217 kg  $K_2O/ha$ .

Het opmerkelijke op het proefveld „De Lange Ossekampen” is nu dat, ondanks de zeer grote kalirijkdom in het bovenste grondlaagje, de hoeveelheid calcium + magnesium t.o.v. kalium in het blad (berekend in m.e.) voor zowel de appel- als de pereboom hoog is, nl. 3,5 à 4,5. Blijkbaar kunnen de boomwortels dus dit oppervlakkig gelegen kalium niet voldoende bemachtigen.

<sup>1</sup> „K-fixation was thought to be a beneficial process since fixed K is held against leaching but becomes available to crops under suitable conditions.”

<sup>2</sup> „K-fixations is an extremely beneficial property without which much of the potassium added as fertilizer might well be lost by leaching.”

## SAMENVATTING

Bij grondmonsters van een groot aantal proefvelden, gelegen op diverse grondsoorten (zeeklei, zavelgrond, rivierklei, löss, zandgrond, esgrond, dalgrond, veengrond) werd het effect nagegaan van een kalibemesting op het kalifixatievermogen van de grond. Dit vermogen werd bepaald zowel volgens de „natte” als de „droge” methode. Eerstgenoemde methode geeft de hoeveelheid  $K_2O$  in procenten van de toegevoegde hoeveelheden, die door 25 g grond wordt gefixeerd na schudden met een KCl-oplossing welke 25 mg  $K_2O$  per 400 cc oplossing bevat. Volgens de andere methode wordt de hoeveelheid kali verkregen, die wordt vastgelegd bij droogdampen van 25 g grond met 25 cc van een KCl-oplossing welke 25 mg  $K_2O$  bevat, bij 70°C (zie analysevoorschrift aan het eind van de Summary).

### UITKOMSTEN VAN DE GEVOLGDE METHODEN

Er worden voorbeelden gegeven waaruit blijkt, dat bij een oorspronkelijk sterk kalifixerende grond wel de natte fixatie door zware bemestingen sterk wordt teruggedrongen, doch relatief in veel geringere mate de droge fixatie. Vooral bij de hogere fixatiewaarden is dit het geval. De oorzaak hiervan is gedeeltelijk te wijten aan de methodiek van de kalifixatiebepaling; in afhankelijkheid van de proefomstandigheden wordt nl. slechts een gedeelte van het fixerend vermogen bepaald. Een andere oorzaak is gelegen in het feit, dat er bij het drogen van de grond met de KCl-oplossing bij 70°C in het laboratorium een sterke contractie plaatsgrijpt van de roosterplaten van ammersooiet (een K-fixerende variëteit van illiet, welke in de kalifixerende Nederlandse gronden voorkomt), waarbij kalium sterk wordt gefixeerd. Deze K-fixerende illietvariëteit gaat dan over in de niet K-fixerende illietvariëteit, nl. het gewone Fithian illiet, terwijl daarentegen de temperatuur onder omstandigheden te velde zelden boven de 35°C komt; verder wordt zelfs met een zware practijkbemesting gewoonlijk niet meer dan ca  $\frac{1}{10}$  gedeelte van de hoeveelheid kali toegediend van die welke bij de bepaling van het fixatieverschijnsel van de grond wordt gebruikt.

De rivierafzettingen fixeren in het algemeen gesproken per eenheid van fractie  $< 2 \mu$  beïnvloedend méér kalium dan zeeafzettingen. Dit verschil wordt veroorzaakt door de ongelijke mate, waarin het oorspronkelijk in deze afzettingen voorkomende niet K-fixerende illiet (Fithian illiet) onder bepaalde omstandigheden is verweerd tot de K-fixerende variëteit (ammersooiet). Ook uit het röntgenologisch onderzoek van de fractie  $< 2 \mu$  bleek, dat er tussen de genoemde grondsoorten verschillen voorkomen in het gehalte aan K-fixerend illiet t.o.v. niet K-fixerend illiet; zelfs bij één en dezelfde afzetting is dit nog het geval.

Bij onderzoek van een aantal monsters met nagenoeg hetzelfde gehalte aan fractie  $< 2 \mu$ , pH en humus bleek, dat er geen nauw verband (evenwicht) bestaat tussen de natte, resp. droge fixatie enerzijds en de hoeveelheid uitwisselbaar kalium of de hoeveelheid kalium bij een-malig schudden oplosbaar in 0,1 N HCl anderzijds. Evenmin werd er een nauw verband gevonden als de natte of droge kalifixatie werd vergeleken met het percentage  $K^+$ -ionen, betrokken op de totale hoeveelheid kationen in het adsorptiecomplex van de betreffende gronden.

Wel bestaat er meer samenhang tussen de hiervoren genoemde grootheden bij de natte dan bij de droge K-fixatie. Afwijkingen van deze statistische relaties komen vooral voor, wanneer zware bemestingen zijn toegediend.

Het onderzoek van de jarenlang met kali bemeste proefvelden toonde aan, dat tot 26% van de in de meststoffen toegediende kali, in de grond wordt teruggevonden als uitwisselbare ionen. Dit percentage is een weinig hoger bij de in 0,1 N HCl oplosbare kali.

## DE HOEVEELHEDEN GEFIXEERD KALIUM

Er is getracht door bepaling van de totale gehalten van kalium in grondmonsters van bemeste resp. onbemeste objecten van proefvelden gegevens te verkrijgen omtrent de hoeveelheid gefixeerd kalium. Tengevolge van de hoge standaardafwijking van de analyse ( $s = 500 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$ ) en van verschillen in de granulaire samenstelling van de grond tussen beide objecten, hebben de verkregen cijfers slechts weinig definitiefs opgeleverd bij zwakke en matig K-fixerende gronden. Wel kan bij sterk K-fixerende gronden, welke tevens zeer zwaar werden bemest, op deze wijze een duidelijke K-fixatie worden aangetoond. Zo bedroeg te Scheemda, Bellingwolde en Ammerzoden, waar in de loop van 22 à 23 jaren resp. 4050, 8150 en 6670  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$  was toegediend bij een gemiddelde jaarlijkse bemesting van resp. 184, 370 en 290  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$ , de op deze wijze bepaalde K-fixatie maximaal 1000 à 2000  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$ . Het K-fixatievermogen, bepaald volgens de natte en de droge methode, was hier ook het hoogst van alle onderzochte proefvelden nl. resp. 22 %, 43 % en 61 % volgens de natte methode en 62 %, 64 % en 84 % volgens de droge methode. Uit de totale gehalten aan  $\text{K}_2\text{O}$  van de fractie  $< 2 \mu$  blijkt dat, omgerekend op een bouwvoor van ca 25 cm met een volumegewicht = 1,2, op het matig bemeste object van het proefveld te Ammerzoden 1400 tot 1900  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$  is gefixeerd uit de in totaal toegediende bemesting van 3210  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$  (140  $\text{kg K}_2\text{O}$  per jaar). Op het zwaarst bemeste object is 1900 tot 2300  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$  gefixeerd van de in totaal toegediende bemesting van 6670  $\text{kg K}_2\text{O}$  per ha (290  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$  per jaar). Deze getallen komen wat orde van grootte betreft overeen met die, welke door TEMME en VAN DER MAREL (1953) werden gevonden bij schudden van deze grond met een geconcentreerde KCl-oplossing; bij een intensievere behandeling van de grond met kalium, nl. bij herhaalde bevochtiging met een geconcentreerde KCl-oplossing en een daaropvolgende indroging, werden hoeveelheden kalium gefixeerd overeenkomend met 4400 tot 6330  $\text{kg K}_2\text{O/ha}$ .

## DE BESCHIKBAARHEID VAN GEFIXEERD KALIUM VOOR DE PLANT

Het gefixeerde kalium uit de toegediende kalibemesting is niet voor de plant verloren (ontoegankelijk). Dit blijkt behalve uit reeds eerder verricht onderzoek – zie TEMME en VAN DER MAREL (1953) – nog uit de goede opbrengsten aan suikerbieten, haver, tarwe en gerst, welke op verschillende andere proefvelden, eveneens gelegen op sterk K-fixerende rivierkleigronden, werden verkregen. Een hoge K-fixatie van de grond is derhalve niet, of althans veel minder nadelig voor de kalivoorziening van de hierbovengenoemde gewassen dan voor een gewas als aardappel.

De eigenschap van kalifixatie kan, zoals door diverse buitenlandse onderzoekers (BLUME, DE TURK, ATTOE) is vermeld, in zekere mate zelfs gunstig genoemd worden. Immers, het toegediende kalium uit de mest wordt in de bouwvoor geconcentreerd, spoelt niet naar de ondergrond uit en kan door de hierbovengenoemde gewassen voor een groot deel worden benut. Op sterk K-fixerende gronden wordt echter bij aardappelen veelal een slechte opbrengst verkregen. Gewassen met een grote adsorptiecapaciteit (T-waarde) van de wortelsubstantie van het gewas zijn volgens gegevens uit de literatuur zeer gevoelig voor een grote overmaat calcium + magnesium t.o.v. kalium in de grond. Deze ongunstige verhouding blijkt nu veelal voor te komen op kaliarme, sterk K-fixerende gronden. Derhalve wordt in dit geval, waar reeds toch al weinig  $\text{K}^+$ -ionen in de bodemoplossing voorkomen (door de hoge K-fixatie), de opname van kalium door de wortels nog moeilijker gemaakt. Verder blijkt een hoog K-fixerend vermogen ongunstig te zijn voor kali-arme gronden waarop zich diepwortelende (oude) fruitbomen bevinden. Dit is o.a. het geval op het bekende proefveld „De Lange Ossekampen” te Wageningen.

Bij onderzoek bleek nl., dat hier de ruimschoots toegediende kalibemesting (gem. 456 kg  $K_2O$ /ha per jaar en in totaal 8217 kg  $K_2O$ /ha) niet dieper in de grond was doorgedrongen dan slechts 25 cm. Het quotient  $\frac{CaO + MgO}{K_2O}$  van de appel- en perebladeren was dan ook hoog = ca 3,5 à 4,5.

De andere proefvelden, welke niet zo zwaar zijn en ook niet zo sterk kalium fixeren als de grond van het proefveld „De Lange Ossekampen”, geven hoge cijfers voor uitspoeling van kali naar de ondergrond. Deze bedroegen op de zeekleigronden van de proefvelden te Bellingwolde en Nw Beerta resp. ca 55 % en 60 %. Ook de veel lichtere sterk K-fixerende rivierkleigrond te Ammerzoden geeft nog een verlies van ca 43 %, hetwelk ca 73 % geweest zou zijn indien deze grond geen kalium had gefixeerd. Bij de proefvelden gelegen op zandgronden werden bedragen voor uitspoeling gevonden tot ca 50 %, hoewel hier met minder kalium was gemest.

## SUMMARY

### POTASSIUM FIXATION IN THE DUTCH SOILS

A large number of soils were analysed to determine the amount of potassium which is fixed from the manure applied in the course of successive years. Potassium fixation was determined by the wet and the dry method (see method of analysis). The amount of exchangeable  $K^+$ -ions which is needed for the above determinations was found by percolation of the soil with 0.5 N Mg acetate as 0.1 N HCl or 0.5 N  $NH_4$  acetate are unsuitable, because besides exchangeable  $K^+$ -ions, also fixed  $K^+$ -ions are removed by weak acids or by ions like  $NH_4^+$  ( $\alpha_p = 1.60 A^3$ ) which has a larger polarizability than potassium ( $\alpha_p = 0.97 A^3$ ).

It was concluded that wet fixation is relatively more lowered by K-fertilization than dry fixation (see tables 2 and 3 and figs. 1 and 2). This holds especially for strongly K-fixating soils which have afterwards been manured with large amounts of potassium. The cause of this different behaviour is in the first place that only a part of the K-fixation by the methods followed is determined. Therefore it depends on the circumstances of the experiment which equilibrium is reached. Another cause is that by drying the soil with a KCl-solution at 70°C, the lattices of ammersooite, a variety of illite with open layers found in Dutch soils with a high K-fixation capacity – see TEMME and VAN DER MAREL (1953) and VAN DER MAREL (1954) – are contracted thereby yielding the closed (common) variety of illite = Fithian illite. A strong contraction of the lattices, however, does not occur in the soil in the field as the temperature in soils of moderate climates seldom exceeds 35°C and potassium concentration in the soil due to applied potassium manure is only very small.

River sediments mostly fixed more potassium per 100 g of separate  $< 2 \mu$  than marine sediments (see figure 3). This difference is caused by the greater extent to which the original non fixating (closed) illite, occurring in these soils, is transformed to the fixating (open) illite variety. Illite and ammersooite occurring in the  $< 2 \mu$  separate of marine and river sediments and the closing and opening of the ammersooite layers caused by  $K^+$ - and  $Mg^{++}$ -ions, respectively, are demonstrated (see plate I).

Exchangeable potassium of a soil, or potassium dissolved by 0.1 N HCl if shaken for one hour, is not closely related to K-fixation capacity. Even if soils with about the same amount of separate  $< 2 \mu$ , pH and humus are compared, large deviations may occur (see tables 4 and 5 and figures 4 and 5). Exchangeable  $K_2O$  in % of total exchangeable cations (T.E.C. = total adsorbed  $Na^+$ -ions by percolation of the soil with 0.5 N Na-acetate of pH = 8.2) is not closely related to K-fixation (see tables 4 and 5 and figure 6). The same holds for the amount of exchangeable  $K^+$ -ions in % of cation exchange capacity (C.E.C. = total exchangeable cations after the soil is percolated before with 0.5 N  $NH_4Cl$  and thus has fixed first  $NH_4^+$ -ions, which, like  $K^+$ -ions, contract the layers of the open illite) – see tables 4 and 5 and figure 7. Deviations which are found on the statistical relationships are more evident at the larger amounts of  $K_2O$  applied to the soils. Moreover they were found to be larger for K-fixation determined after the dry method than following the wet method. From the latter it may be concluded that weakly fixed potassium is more related to exchangeable or to in 0.1 N HCl soluble potassium than is strongly fixed potassium.

Exchangeable potassium in soils which were treated with large amounts of potassium may increase to ca 26 per cent of the potassium applied in manure (see tables 2 and 6). Potassium dissolved by shaking the soil with 0.1 N HCl for 1 hour – among which fixed potassium resulting from manure – may even increase a few per cent more. Granulometric composition of the soil, cation exchange capacity and the kind of crop are other factors

which influence the amount of potassium leached to the subsoil. From the total  $K_2O$  analysis of several experimental fields (see table 7) having a standard deviation (of the single determination) of 500 kg  $K_2O/ha$ , it appeared that only in the most pronounced cases e.g. soils having a strong K-fixation capacity and being manured in the course of 22 to 23 years with large amounts of potassium, fixation should be about 1000 to 2000 kgs  $K_2O/ha$ . See experimental fields at Scheemda (wet fixation = 22 %, dry fixation = 62 %), Bellingwolde (wet fixation = 43 %, dry fixation = 64 %), Ammerzoden (wet fixation = 61 %, dry fixation = 84 %).

From the total analysis of the separate  $< 2 \mu$  of the experimental field at Ammerzoden, it appears (see table 8) that 1900 to 2300 kgs  $K_2O/ha$  was fixed by the heavily manured plot, which received annually 290 kgs  $K_2O/ha$  and in total 6670 kgs  $K_2O/ha$ . These amounts are of the same order as are found earlier to be fixed – see TEMME and VAN DER MAREL (1953) – when the untreated soil was shaken with a concentrated solution of KCl = 1230 to 2820 kgs  $K_2O/ha$  (calculated to a depth of the sample of 25 cms). By wetting and drying (at 70°C) repeatedly with a concentrated solution of KCl, 4440 to 6330 kgs  $K_2O/ha$  are fixed (see table 10). But these circumstances do not occur in the field. Therefore by the dry fixation method only an exaggerated presentation is obtained of the significance of potassium fixation phenomenon for soils under natural conditions.

Potassium from the fertilizer fixed by the soil in the field is still available to the plant. From experiments, described by several investigators and referred to in this article, it follows that crops can remove appreciable amounts of non-exchangeable potassium from the soil, among which is also fixed potassium. The high yields of sugar beets, mangolds, oats, barley and wheat which are obtained on experimental fields with a high K-fixation capacity (see table 11) are, in addition to the earlier results of TEMME and VAN DER MAREL (1953), a further proof that the K-fixation phenomenon is of slight hindrance for the supply of potassium to these crops. Only potatoes have low yields on this soil type which has moreover mostly a surplus of calcium and magnesium against potassium. The cause of this different behaviour is that the first mentioned crops have, according to DRAKE (1951), a low adsorption capacity for their root substance and the latter a high one. Thus the uptake of  $K^+$ -ions by the potato roots from the soil substrate, containing only small amounts of  $K^+$ -ions (on account of K-fixation), is furthermore decreased by the excess of  $Ca^{++} + Mg^{++}$ -ions against  $K^+$ -ions.

The potassium fixation phenomenon of a soil causes potassium fertilizer not to be leached to the subsoil but predominantly to be concentrated (fixed) in the top soil (see tables 9 and 12). Thus for the light textured, but strongly fixing river clay of Ammerzoden was found a loss of ca 43 %, which would have been 73 % if this soil had not fixed ca 2000 kgs  $K_2O/ha$  in the course of 23 years.

As potassium fixed under natural conditions is furthermore available to the crops for a large part (probably ca 40 to 50 per cent – see literature –) the K-fixation phenomenon may even be beneficial as it prevents the potassium from being drained to the subsoil – see also BLUME (1939), DE TURK (1943) and EVANS (1948) –. However, in old orchards situated on heavy, K-deficient soils with a high K-fixation capacity, potassium from the applied manure is superficially bound and it only moves to deeper layers where it may be taken up by the roots of the trees, when the top soil is saturated with potassium. An example is given (see table 12).

Soils of lighter texture or soils fixing potassium only moderately, have more  $K_2O$  lost to the subsoil when they are continuously manured with large amounts of potassium. Thus on the heavy, but only moderately K-fixating soils of the experimental fields at Bellingwolde and Nw Beerta ca 55% and 60 % of  $K_2O$ , respectively, has found its way to the subsoil in the



course of 22 years. As a matter of fact it is only a question of calculation which amount of K-fertilizer giving a certain yield, is still advantageous for a certain soil on a certain farm.

METHOD OF ANALYSIS FOR THE DETERMINATION OF THE AMOUNT  
OF POTASSIUM WHICH IS FIXED BY A SOIL

*Exchangeable  $K_2O$*

25 g of soil on dry basis ( $105^\circ C$ ) is shaken in a flask with about 400 cc  $H_2O$  for 1 hour. The suspension is filtered through a Buchner filter and filter paper of  $BaSO_4$  fineness. The soil on the filter is washed with 0.5 N Mg-acetate in parts of ca 50 cc each until about 600 to 650 cc total filtrate has been obtained. The filtrate is evaporated to a volume of about 200 cc and 50 cc (more, if necessary) of a saturated  $NH_4$ -oxalate solution is added. The beaker is left on a boiling waterbath for 2 hours. Afterwards the solution is put in a flask of 250 cc, water is added to the mark and the contents are shaken. After filtration the amount of potassium is determined by flame photometry.

From the amount of  $K_2O$  found = A mg is subtracted the amount of  $K_2O$  of the „blank” = B mg. The amount of exchangeable  $K_2O$  is noted in per cent of the soil on dry basis ( $105^\circ C$ ) =  $4 \times \frac{(A - B)}{4} \times 0.001 \%$ . The standard deviation of the single determination (s) of this analysis = 0.0004 to 0.0008 (real) % (average = 0.0006 %).

*Fixed potassium after wetting (K-fixation wet method)*

25 g of soil on dry basis is shaken with 400 cc of a KCl solution, in which 25 mg  $K_2O$ , for 1 hour. After having left it in this condition for 1 night, the suspension is filtered through a Buchner filter (filter paper of  $BaSO_4$  fineness), and percolated with 0.5 N Mg-acetate in parts of ca 50 cc each, until 600 to 650 cc total filtrate is obtained etc., etc., as is mentioned sub a.

Each series is also here accompanied by a „blank” (with 400 cc of the KCl solution) = D mg. From the amount of  $K_2O$  found in the filtrate of this soil sample = C mg, is subtracted the amount of exchangeable potassium = A - B mg  $K_2O$ . The amount of  $K_2O$  fixed in % =  $\frac{D - [C - (A - B)]}{D} \times 100$ . The s of this analysis = 3.3 to 2.3 (real) % (average = 2.8 %).

*Fixed potassium after drying (K-fixation dry method)*

25 g of soil on dry basis is mixed with 25 cc of a KCl-solution, in which 25 mg  $K_2O$  as is mentioned sub a, until a thick suspension is obtained (some water is added if necessary). The contents of the beaker are dried in an oven at about  $70^\circ C$  for 16 hours (longer, if necessary). The dried soil in the beaker is put in a flask with 400 cc of  $H_2O$  and the suspension is shaken for 1 hour. The contents are filtered through a Buchner filter under suction (with filter paper of  $BaSO_4$  fineness), percolated with 0.5 N Mg-acetate in parts of ca 50 cc each, until ca 600 cc total filtrate is obtained, etc., etc., as is mentioned sub a.

Each series is also here accompanied by a „blank” (with 25 cc of the KCl solution). The amount of fixed  $K_2O$  in % is calculated from the results in the same way as is mentioned sub a. The s of this analysis = 2.9 to 2.1 (real) % (average = 2.5 %).

## FIGUREN

FIG. 1. De hoeveelheid  $K_2O$  (in %) welke wordt gefixeerd volgens de natte t.o.v. die welke wordt gefixeerd volgens de droge kaliumfixatiemethode bij verschillende grondsoorten afkomstig van de in tabel 2 genoemde proefvelden

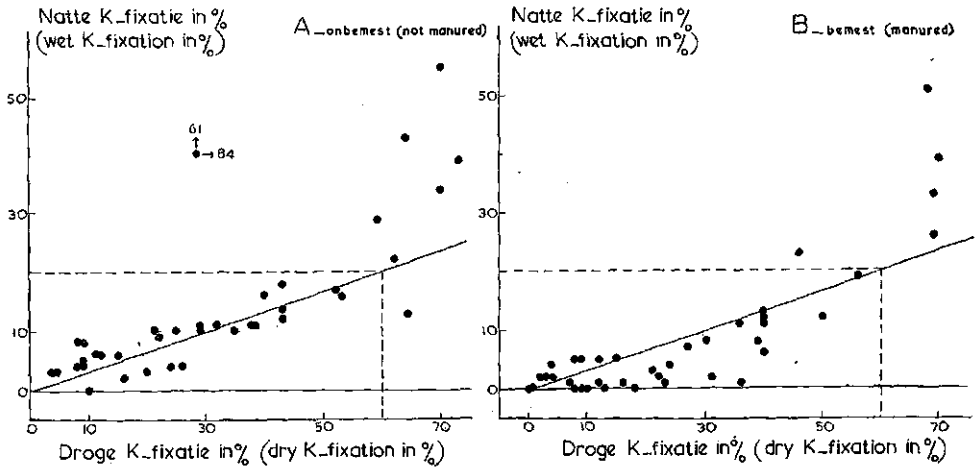


FIG. 1. The amount of  $K_2O$  (in %) which is fixed by the wet-against that which is fixed by the dry K-fixation method of several soil types from experimental fields as mentioned in table 2

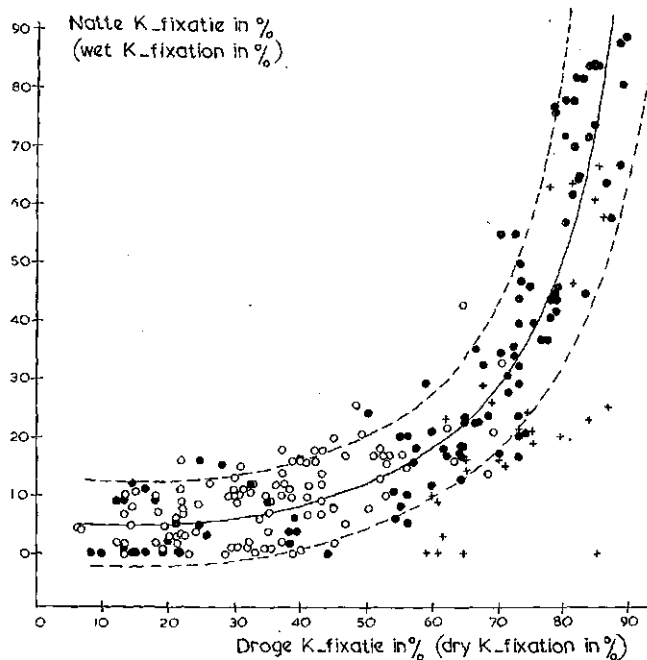


FIG. 2.

De hoeveelheid  $K_2O$  (in %) welke wordt gefixeerd volgens de natte t.o.v. die welke wordt gefixeerd volgens de droge kaliumfixatiemethode bij zee- en rivier- (Maas, Waal, Rijn, IJssel) afzettingen

- = zeeafzettingen (marine sediments)
- = rivierafzettingen (river sediments)
- + = De Lange Ossekampen Ammerzoden rivierafzetting (river sediments)

FIG. 2.

The amount of  $K_2O$  (in %) which is fixed by the wet-against that which is fixed by the dry K-fixation method of sea- and river (Meuse, Waal, Rhine, IJssel) sediments

FIG. 3. De hoeveelheid  $K_2O$  (in %) welke wordt gefixeerd volgens de natte en de droge kaliumfixatiemethode t.o.v. de hoeveelheid fractie  $< 2\mu$  in de grond (in %) bij zee-en rivier- (Maas, Waal, Rijn, IJssel) afzettingen

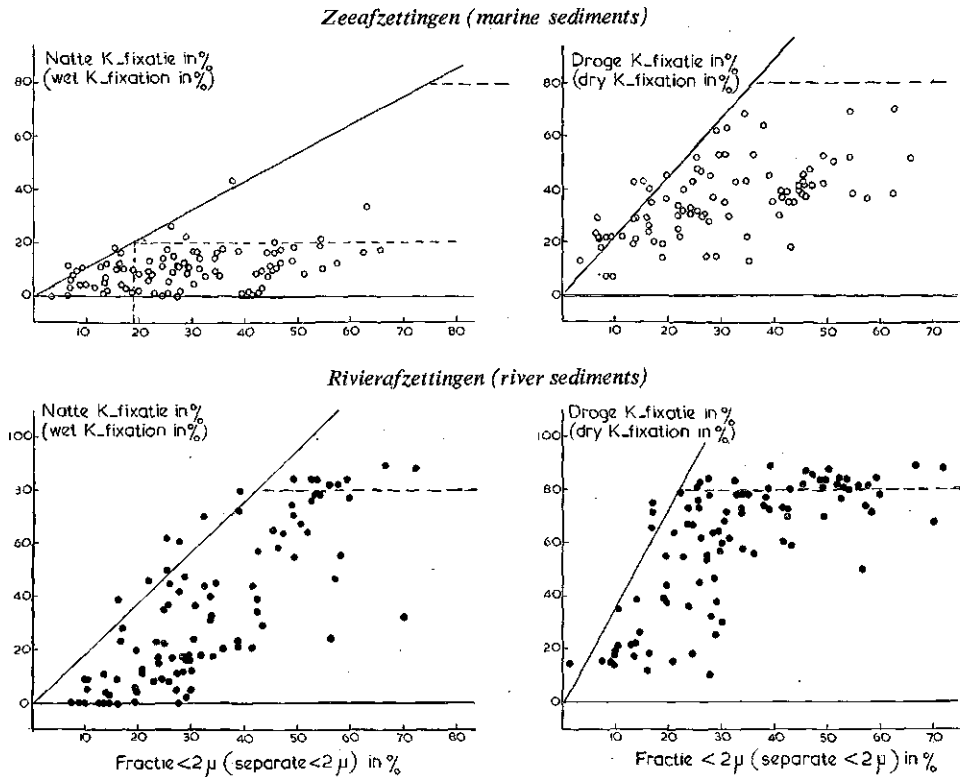


FIG. 3. The amount of  $K_2O$  (in %) which is fixed by the wet- and the dry K-fixation method against the amount of separate  $< 2\mu$  in the soil (in %) of sea- and river (Meuse, Waal, Rhine, IJssel) sediments

FIG. 4. De hoeveelheid uitwisselbaar  $K_2O$  (in 0,001 %) t.o.v. de hoeveelheid  $K_2O$  (in %) welke wordt gefixeerd volgens de natte (figuur 4A) en de droge (figuur 4B) kaliumfixatiemethode bij zwak zuur tot zwak alkalisch reagerende gronden met ongeveer hetzelfde percentage aan humus en fractie  $< 2 \mu$ .

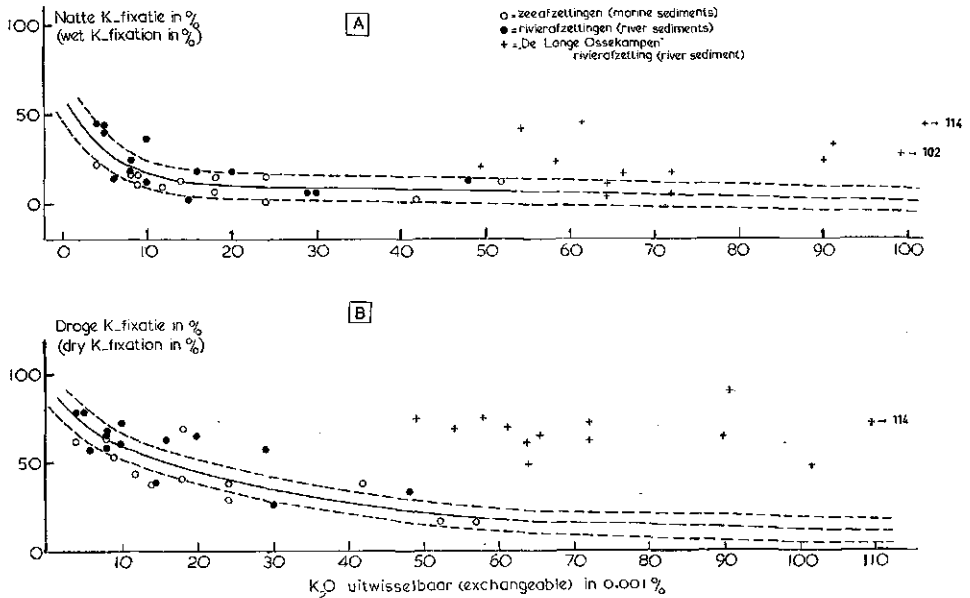


FIG. 4. The amount of exchangeable  $K_2O$  (in 0.001 %) against the amount of  $K_2O$  (in %) which is fixed after the wet (fig. 4A) and the dry (fig. 4B) K-fixation method for weakly acidic to weakly alkalic soils with about the same % humus and of separate  $< 2 \mu$ .

FIG. 5. De hoeveelheid  $K_2O$  welke oplost bij schudden van de grond met 0,1 N HCl (in 0,001%) t.o.v. de hoeveelheid  $K_2O$  (in %) welke wordt gefixeerd volgens de natte (figuur 5A) en de droge (figuur 5B) kaliumfixatiemethode bij zwak zuur tot zwak alkalisch reagerende gronden met ongeveer hetzelfde percentage aan humus en fractie  $< 2 \mu$ .

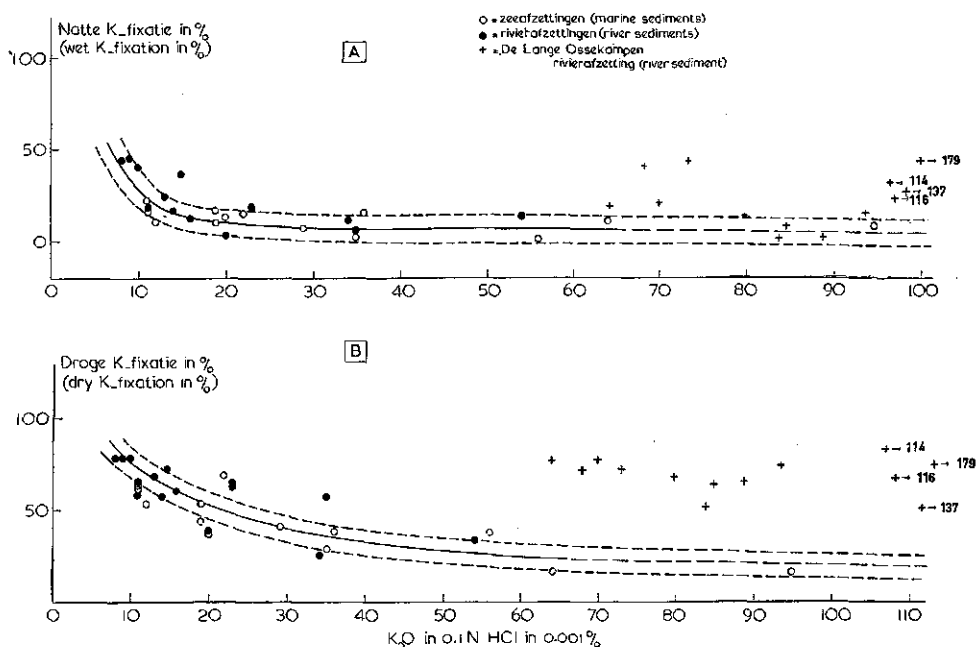


FIG. 5. The amount of  $K_2O$  dissolved by shaking the soil with 0,1 N HCl (in 0,001%) against the amount of  $K_2O$  (in %) which is fixed after the wet (fig. 5A) and the dry (fig. 5B) K-fixation method for weakly acidic to weakly alkaline soils with about the same % of humus and separate  $< 2 \mu$ .

FIG. 6. De hoeveelheid uitwisselbaar kalium (in m.e./100 g) in % van de totaal hoeveelheid uitwisselbare kationen (in m.e./100 g) t.o.v. de hoeveelheid  $K_2O$  (in %) welke wordt gefixeerd volgens de natte (figuur 6A) en de droge (figuur 6B) kaliumfixatiemethode bij zwak zuur tot zwak alkalisch reagerende gronden met ongeveer hetzelfde percentage aan humus en fractie  $< 2 \mu$ .

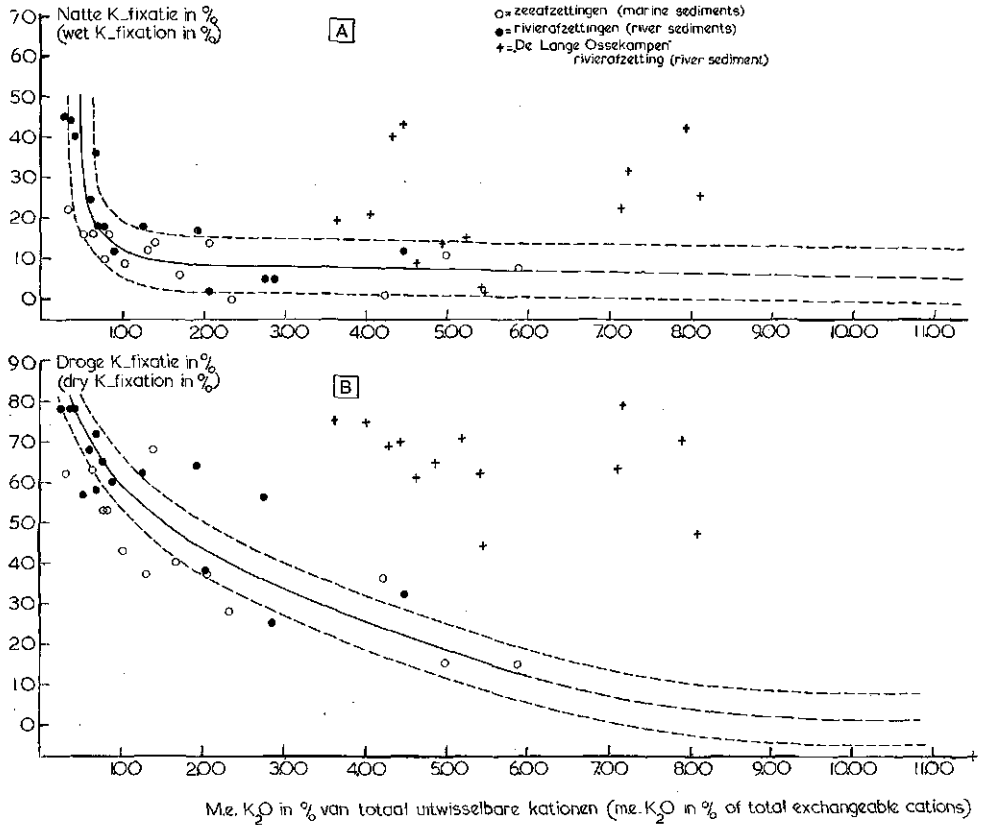


FIG. 6. The amount of exchangeable K (in m.e./100 g) in % of the total amount of exchangeable cations (in m.e./100 g) against the amount of  $K_2O$  (in %) which is fixed after the wet (fig. 6A) and the dry (fig. 6B) K-fixation method for weakly acidic to weakly alkaline soils with about the same % of humus and separate  $< 2 \mu$ .

FIG. 7. De hoeveelheid uitwisselbaar kalium (in m.e./100 g) in % van de kationenwaarde van de grond (in m.e./100 g) t.o.v. de hoeveelheid  $K_2O$  (in %) welke wordt gefixeerd volgens de natte (figuur 7A) en de droge (figuur 7B) kaliumfixatiemethode bij zwak zuur tot zwak alkalisch reagerende gronden met ongeveer hetzelfde percentage aan humus en fractie  $< 2\mu$ .

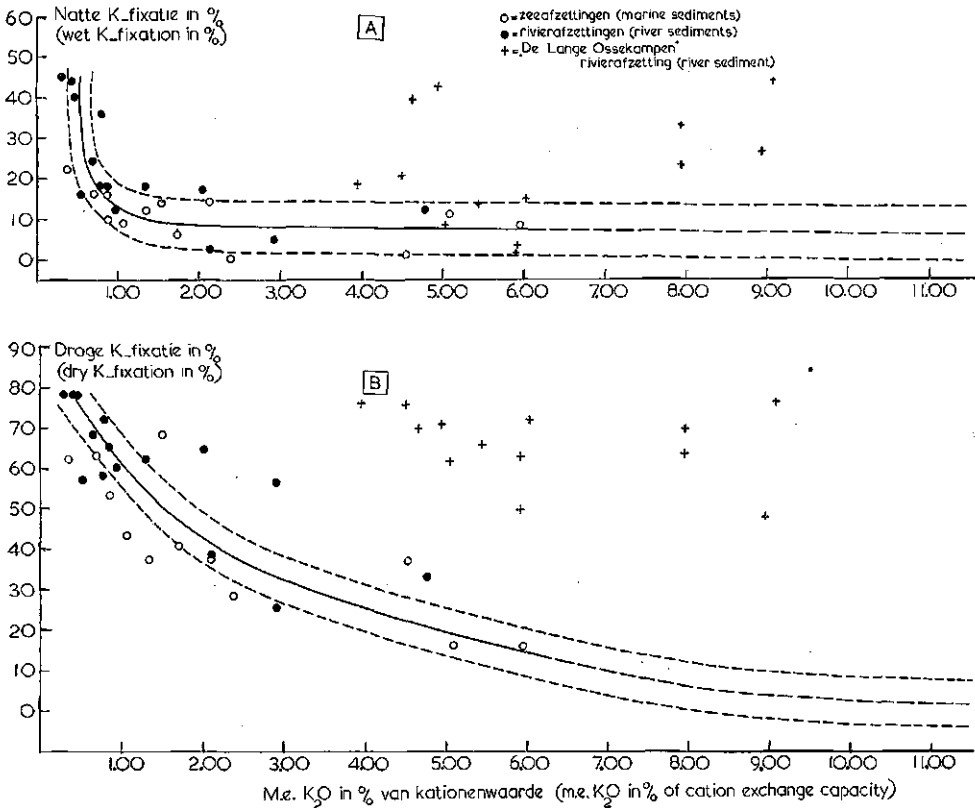
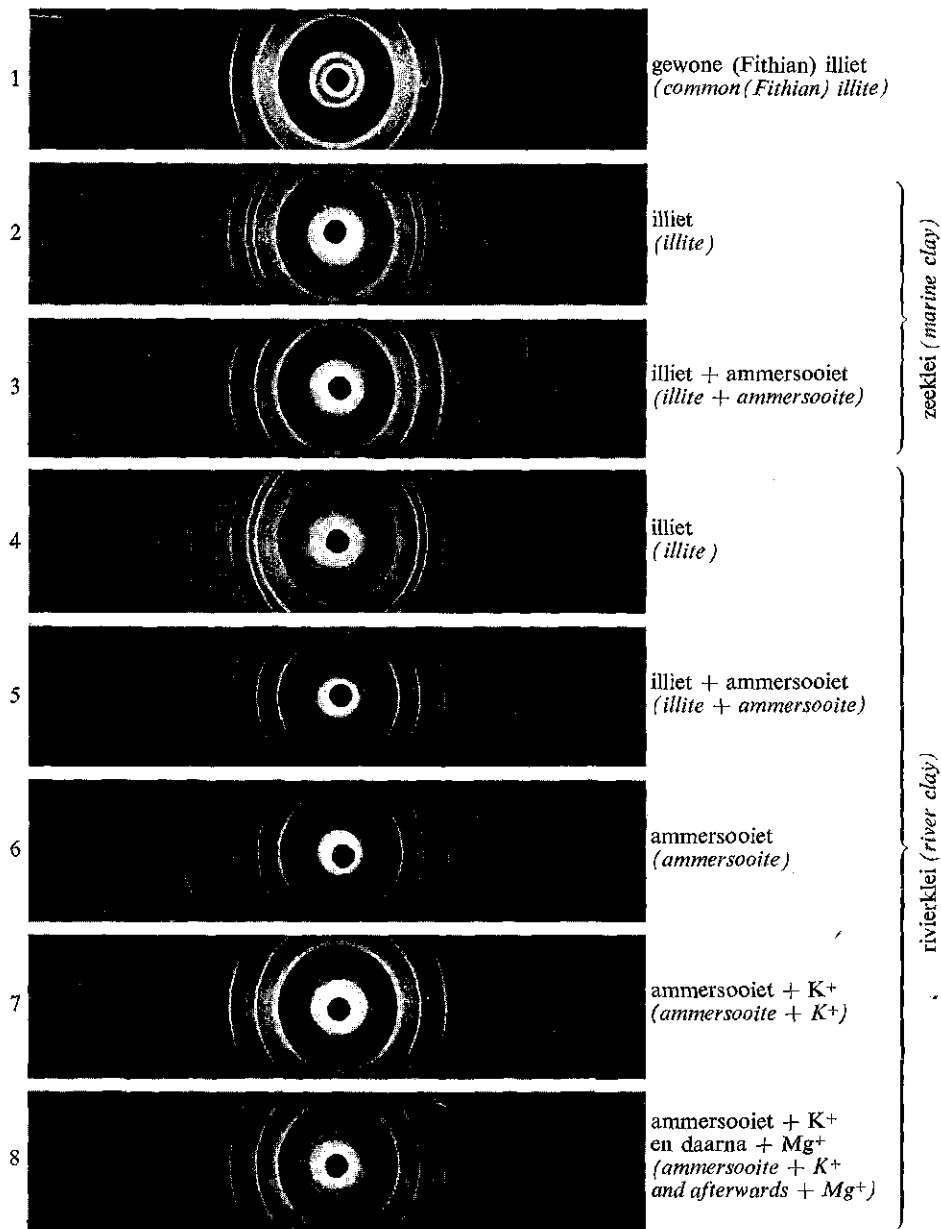
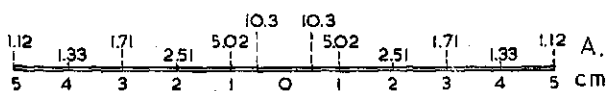


FIG. 7. The amount of exchangeable  $K_2O$  (in m.e./100 g) in % of the cation exchange capacity (in m.e./100 g) of the soil against the amount of  $K_2O$  (in %) which is fixed after the wet (fig. 7A) – and the dry (fig. 7B) K-fixation method for weakly acidic to weakly alkaline soils with about the same % of humus and separate  $< 2\mu$ .

PLAAT I. Röntgenfoto's van gewone (Fithian) illiet (no 1) en de fractie  $< 2\mu$  van rivier- en zeeleigronden met illiet en ammersooiet (nos 2 t/m 6). Verder van de fractie  $< 2\mu$  van een ammersooiethoudende rivierkleigrond, behandeld met een geconcentreerde KCl-oplossing (no 7), en van idem doch daarna behandeld met een geconcentreerde  $MgCl_2$ -oplossing (no 8).

PLATE I. *X-ray photographs of common (Fithian) illite (no 1) and the separate  $< 2\mu$  of river- and marine sediments in which illite and ammersooite (nos 2 to 6). Furthermore of the  $< 2\mu$  separate of a river clay in which ammersooite, treated with a concentrated KCl-solution (no 7) and the same but afterwards treated with a concentrated  $MgCl_2$ -solution (no 8).*





d = 10.8 Å.



gewone (Fithian) illiet  
common (Fithian) illite

open illiet (ammersooiet)  
d = 15.6 Å. open illite (ammersooite)

## LITERATUUR EN TABELLEN

## LITERATUUR

- ALLISON, F. E., JANET H. 1951 Ammonium fixation and availability in Harpster clay loam. *Soil Sci.* 72, 187-200.  
DOETSCH and E. M. ROLLER
- ABEL, F. A. E. and O. C. 1953 Conversion of soil potash from the nonreplaceable to the replaceable form. *Amer. Soc. Agron.* 27, 439-445.  
MAGISTAD
- ATTOE, O. J. 1947 Potassium fixation and release in soils occurring under moist- and drying conditions. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1946) 11, 145-149.
- ATTOE, O. J. 1949 Fixation and recovery by oats of potash supplied to soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1948) 13, 112-115.
- AYRES, A. S., M. 1947 Conversion of nonexchangeable potassium to exchangeable forms in an Hawaiian soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1946) 11, 175-181.  
TAKAHASHI and Y. KONEHIRO
- BEAR, F. E., A. L. PRINCE 1944 The potassium supplying powers of 20 New Jersey soils. *Soil Sci.* 58, 139-149.  
and J. L. MALCOLM
- BLUME, J. M. and E. R. 1939 The fixation and release of applied potash in the coastal plain soils. *J. Am. Soc. Agron.* 31, 857-868.  
PURVIS
- BÖTTCHER, C. J. F. 1946 Computation of the radius and the polarizability of a number of ions. *Rec. d. Trav. Chim. d. Pays-Bas.* 65, 19-38.
- BRELAND, H. L., B. R. 1950 Potassium supplying power of several Indiana soils. *Soil Sci.* 70, 237-247.  
BERTRAMSON and J. W. BORLAND
- BRAY, R. H. and E. E. 1939 Release of potassium from nonreplaceable forms in Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1938) 3, 101-106.  
DE TURK
- CHAMINADE, R. 1934 Etude des équilibres entre le complexe absorbant et les solutions des sols. *Ann. Agron.* 4, 781-792.
- CHAMINADE, R. and 1936a Recherches sur la mécanique chimique des cations échangeables. *Ann. Agron.* 6, 677-690.  
G. DROUINEAU
- CHAMINADE, R. 1936b Sur le passage à l'état non échangeable du potassium dans les sols. *C. R. de l'Acad. d. Sc.* 203, 682-684.
- CHAMINADE, R. 1936c La rétrogradation du potassium dans les sols. *Ann. Agron.* 6, 818-830.
- DE TURK, E. E., L. K. 1943 Potash fixation in corn belt soils. *Soil Sci.* 56, 323-334.  
WOOD and R. H. BRAY
- DRAKE, M., J. VENGRIS and 1951 Cation exchange capacity of plant roots. *Soil Sci.* 72, 139-147.  
WM. G. COLBY
- EVANS, C. E. and O. J. 1948 Potassium supplying power of virgin and cropped soils. *Soil Sci.* 66, 323-334.  
ATTOE
- FINE, L. O., T. A. BAILY 1941 Availability of fixed potassium as influenced by freezing and thawing. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1940) 5, 183-186.  
and E. TRUOG
- FISHER, R. A. 1948 Statistical methods for Research Workers, Oliver and Boyd, Edinburgh.
- GEDROIZ, K. K. 1931 Relations of plant to certain cations fully saturating the soil exchange capacity. *Soil Sci.* 32, 51-63.
- GHOLSTON, L. E. and 1949 The release of exchangeable and nonexchangeable potassium from several Mississippi and Alabama soils upon continuous cropping. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* (1948) 13, 116-121.  
C. D. HOOVER
- HAUSER, G. F. 1941 Die nichtaustauschbare Festlegung des Kalis im Boden. Proefschrift Wageningen.
- HOAGLAND, D. R. and 1933 Absorption of potassium by plants in relation to replaceable, nonreplaceable and soil solution potassium. *Soil Sci.* 36, 1-33.  
J. C. MARTIN
- HOOVER, C. D., U. S. JONES 1949 Release of nonexchangeable potassium as influenced by weathering, soil mineral type, soil reaction and potassium fertilization. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* (1948) 13, 347-351.  
and L. E. GHOLSTON
- HOPKINS, C. G. and 1915 Potassium from the soil. *Illinois Agr. Exp. Stat. Bull.* 182, 3-10.  
J. P. AUMER
- HUDIG, J. 1929 De taak van de landbouwscheikunde in het heden en in de toekomst. Inaugurale rede op 16 Februari te Wageningen. J. J. Bronsema. Leek (Gr.).

- HUDIG, J. 1941 De grond als productie-apparaat en de middelen om zijn waarde te bepalen. Rede Algem. Jaarvergad. Econom. Technolog. Inst. Overijsel op 17 April te Wageningen.
- LEVINE, A. K. and JOFFE, J. S. 1947 IV: Fixation of potassium in relation to exchange capacity of soils. *Soil Sci.* **63**, 329-335.
- MAREL, H. W. VAN DER 1950 The mineralogical composition of the Dutch soils and their cationic exchange capacity. *Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci. Amsterdam II*, 92-94.
- MAREL, H. W. VAN DER 1950 Identification of minerals in soil clay by X-ray diffraction patterns *Soil Sci* **70**, 109-136.
- MAREL, H. W. VAN DER 1954 Potassium fixation in the Dutch soils: Mineralogical analysis. *Soil Sci.* **78**, 163-179.
- MASCHHAUPT, J. G. 1941 Lysimeteronderzoekingen van het Rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders. II. De scheikundige samenstelling van het drainwater. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **47** (4) A: 165-528.
- MASCHHAUPT, J. G. 1943 Resultaten verkregen bij het onderzoek der Groninger klei- en zavelgronden. *Groene serie Rijkslandb. Proefst. en Bodemk. Inst. Groningen* blz. 1-88.
- MC BETH, I. G. 1917 Fixation of ammonia in soils. *Journ. Agr. Res.* **9**, 141-155.
- PAULING, L. 1945 The nature of the chemical bond and the structure of molecules and crystals. *Cornell. Univ. Press, Ithaca, New-York*.
- PAAUW, F. VAN DER 1936 Het kalivraagstuk op de zand- en dalgronden. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **42** (12) A: 393-448.
- PAAUW, F. VAN DER 1942 Onderzoekingen over de kalihuishouding op zandgrond en bezand hoogveen. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **48** (7) A: 465-499.
- POPP, M. and J. CONTZEN 1931 Die Erschöpfung der Boden-Phosphorsäure, *Ztschr. f. Pflanzenern. Düng. u. Bodenk.* **22** (A), 1-20.
- PRATT, P. F. 1951 Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. *Soil Sci.* **72**, 107-117.
- REITEMEIER, R. F., R. S. HOLMES, I. C. BROWN, L. W. KLIPP and R. Q. PARKS 1948 Release of nonexchangeable potassium by greenhouse, Neubauer and laboratory methods. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1947) **12**, 158-162.
- REITEMEIER, R. F., R. S. HOLMES and I. C. BROWN 1950 Available nonexchangeable soil potassium at three Northern Great Plains locations by a Neubauer procedure. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1949) **14**, 101-105.
- RIVIÈRE, A. 1948 Sur les illites et les argiles Bravaisitiques. *Verre et Silicate Ind.* **13**, 47-48.
- ROUSE, R. D. and B. R. BERTRAMSON 1950 Potassium availability in several Indiana soils, its nature and methods of evaluation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1949) **14**, 113-123.
- STANFORD, G. and W. H. PIERRE 1947 The relation of potassium fixation to ammonium fixation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1946) **11**, 155-160.
- TEMME, J. en H. W. VAN DER MAREL 1953 Kaliumfixatie en verstoorde kaliumhuishouding. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **58** (6): 1-53.
- VOLK, N. L. 1934 The fixation of potash in difficulty available form in soils. *Soil Sci.* **37**, 267-287.
- VRIES, A. DE en C. W. G. HETTERSCHIJ 1945 Onderzoekingen over de methodiek bij kaliumbepalingen in grond. *Versl. Landbouwk. Onderz.* **50** (4) A: 139-191.
- WHITE, J. L. 1951 Transformation of illite into montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (1950) **15**, 129-133.
- WIKLANDER, L. 1950 Fixation of potassium by clays saturated with different cations. *Soil Sci.* **69**, 261-168.
- YORK, E. T. 1949 Thesis Cornell Univ. Ithaca, N.Y.

# TABELLEN

TABEL 1. De hoeveelheid uitwisselbaar kalium in 0,001 % en de hoeveelheid gefixeerd kalium in % volgens de natte en de droge K-fixatiemethode bij gebruik van 0,5 N Mg-acetaat en 0,5 N NH<sub>4</sub>-acetaat als verdringsvloeistof

No	Herkomst (origin)	0,5 N Mg-acetaat (0,5 N Mg-acetate) I			0,5 N NH <sub>4</sub> -acetaat (0,5 N NH <sub>4</sub> -acetate) II			Verschil (difference) II-I		
		K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (exchangeable) 0,001 %	gefixeerd kalium (potassium fixed)		K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (exchangeable) 0,001 %	gefixeerd kalium (potassium fixed)		K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (exchangeable) 0,001 %	gefixeerd kalium (potassium fixed)	
			nat (wet) %	droog (dry) %		nat (wet) %	droog (dry) %		nat (wet) %	droog (dry) %
ZEEAFZETTINGEN (marine sediments)										
43	Rossum	97	sp	sp	125	6	16	+28	+ 6	+16
313	Nw Beerta	81	sp	7	115	3	10	+34	+ 3	+ 3
481	Hoornse Diep	13	10	11	16	5	sp	+ 3	- 5	- 11
307	Ouddorp	3	9	22	6	9	20	+ 3	0	- 2
34	Borns	27	sp	24	41	5	15	+14	+ 5	- 9
347	Horssen	7	12	50	12	1	42	+ 5	- 11	- 8
737	Midwolda	13	13	52	15	7	42	+ 2	- 6	- 10
343	Ophemert	4	20	56	14	4	60	+10	- 16	+ 4
346	Horssen	5	13	64	6	sp	60	+ 1	- 13	- 4
RIVIERAFZETTINGEN (river sediments)										
38	Amerongen	4	32	68	16	21	67	+12	- 11	- 1
250	de Langstraat	5	50	73	6	35	72	+ 1	- 15	- 1
456	Hoenzadriel	sp	77	78	9	75	81	+ 9	- 2	+ 3
458	Hoenzadriel	sp	84	84	6	81	81	+ 6	- 3	- 3
471	Kerkwijk	sp	84	84	9	77	84	+ 9	- 7	0
462	Hoenzadriel	5	74	84	15	48	92	+10	- 26	+ 8
457	Kerkwijk	sp	82	82	5	84	84	+ 5	+ 2	+ 2
589	Ammerzoden	3	61	84	6	50	76	+ 3	- 11	- 8
543	Geldermalsen	12	29	73	19	27	63	+ 7	- 2	- 10
638	Wageningen	70	25	74	96	6	77	+26	- 19	+ 3
639	Wageningen	45	18	73	69	10	83	+24	- 8	+10
640	Wageningen	40	21	73	56	10	82	+16	- 11	+ 9
661	Wageningen	41	24	80	64	11	79	+23	- 13	- 1
642	Wageningen	24	25	77	46	15	85	+22	- 10	+ 8
665	Wageningen	21	26	82	45	12	85	+24	- 14	+ 3
669	Wageningen	30	20	80	53	12	75	+23	- 8	- 5

TABEL 1. Exchangeable K<sub>2</sub>O in 0,001 % and fixed potassium in % after the wet and the dry K-fixation method and with 0,5 N Mg-acetate and 0,5 N NH<sub>4</sub>-acetate

TABEL 2. Kalium uitwisselbaar en kalium gefixeerd (volgens natte en droge methode) op het onbemeste (O) calciumcarbonaat, pH en fractie < 2 $\mu$ .

No proefveld (experimental field)	Herkomst (origin)	Aanleg proefveld (date experimental field) jaar (year)	Onbemest = O (untreated = O) K <sub>2</sub> O gefixeerd (K <sub>2</sub> O fixed)			Bemest = b (treated = b) K <sub>2</sub> O gefixeerd (K <sub>2</sub> O fixed)			Verschil = b-O (difference = b-O) K <sub>2</sub> O gefixeerd (K <sub>2</sub> O fixed)		
			K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (exchangeable)	natte methode (wet method)	droge methode (dry method)	K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (exchangeable)	natte methode (wet method)	droge methode (dry method)	K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (exchangeable)	natte methode (wet method)	droge methode (dry method)
			0,001 %	%	%	0,001 %	%	%	0,001 %	%	%
<b>Zeeklei (marine clay)</b>											
Pr 90	Scheemda	1928	3	22	62	38	1	36	35	21	26
Pr 82	Bellingwolde	1928	5	43	64	20	13	40	15	30	24
Pr 80	Nw-Beerta	1928	13	11	38	81	sp	7	68	11	31
WM 380	Wieringermeer	1938	8	11	32	11	8	30	3	3	2
ZHE 302	Oud Beyerland	1938	6	17	52	16	8	39	10	9	13
ZHE 341	Westerveld	1938	8	16	53	14	6	40	6	10	13
ZHE 340	Heenvliet	1938	8	14	43	10	2	31	2	12	12
<b>Zavelgrond (marine loam)</b>											
Pr 201	Pieterzijl	1935	5	16	40	11	12	40	6	4	0
Pr 1	Mensingeweer	1923	6	18	43	19	sp	13	13	18	30
Pr 952	Oude Schip	1947	5	12	43	6	11	40	1	1	3
Pr 951	Warffum	1947	sp	11	29	sp	4	24	0	7	5
ZHE 1061	Ouddorp	1940	3	9	22	6	sp	18	3	9	14
ZHE 906	Tintie	1939	4	3	20	6	sp	18	2	3	2
ZHE 342	Oudenhoorn	1938	2	4	24	7	1	23	5	3	1
ZHE 382	Hellendoorn	1938	6	10	35	12	7	27	6	3	8
ZHE 384	Haringvliet	1938	4	10	29	7	2	22	3	8	7
<b>Rivierklei (river-clay)</b>											
OGE 991	Zevenaar	1947	5	39	73	5	39	70	0	0	3
OGE 990	Duiven	1947	6	34	70	6	33	69	0	1	1
ZGE 596	Asch	1947	4	29	59	5	23	46	1	6	13
ZGE 595	Opheert	1947	4	20	56	6	19	56	2	1	0
ZGE 594	Kerkwijk	1947	1	55	70	2	51	68	1	4	2
K.Imp.Mij	Ammerzoden	1928	3	61	84	7	26	69	4	35	15
ZGE 378	Horssen	1944	5	13	64	7	12	50	2	1	14
<b>Löss (loess)</b>											
L 802	Wijnandsrade	1943	1	11	38	5	11	36	4	0	2
L 804	Beek	1943	1	6	15	4	5	15	3	1	0
<b>Zandgrond (sand)</b>											
Pr 734	Opende	1942	5	6	12	6	5	12	1	1	0
Pr 754	Opende	1943	2	8	9	14	2	3	12	6	6
Pr 964	Zevenhuizen	1947	2	6	11	10	5	9	8	1	2
Pr 65	Hooghalen	1928	1	3	4	16	2	2	15	1	2
OF 2	Drachten	1924	sp	4	8	6	4	4	6	0	4
NOB 44	Erp	1943	4	2	16	10	sp	9	6	2	7
Pr 929	Geldrop	1947	4	10	25	10	1	12	6	9	13
Pr 646	Marum	1941	2	8	8	14	sp	sp	12	8	8
L 360	Stramproy	1938	4	5	9	16	5	8	12	0	1
<b>Esgrond (old arable sandy soil)</b>											
NGE 81	Haarlo	1932	4	sp	10	11	sp	10	7	0	0
NGE 73	Ruurlo	1931	11	4	26	16	3	21	5	1	5
OO 61	Lutte	1931	2	10	21	12	1	16	10	9	5
<b>Dalgrond (reclaimed peaty subsoil)</b>											
ZGr 148	Borger-Compagnie	1940	5	3	4	16	sp	sp	11	3	4
<b>Veengrond (peaty soil)</b>											
Pr 982	Marum	1948	11	4	9	14	2	4	3	2	5

O = onbemest (untreated)    b = bemest (treated)    sp = sporen (traces)

en het bemeste (b) object van verschillende kali-proefvelden. Verder kalium oplosbaar in 0,1 N HCl, humus,

K <sub>2</sub> O oplosb. in 0,1 N HCl (K <sub>2</sub> O in 0,1 N HCl)			Humus		CaCO <sub>3</sub>		pH		Fractie < 2 $\mu$ (separate < 2 $\mu$ )		Bemesting (treatment) kg K <sub>2</sub> O/ha	
O	b	b-O	O	b	O	b	O	b	O	b	gemiddeld (average)	totaal (total)
0,001 %	0,001 %	0,001 %	%	%	%	%			%	%		
11	56	45	3,3	3,4	0,2	sp	7,0	6,5	28,9	29,5	184	4050
12	38	26	4,6	5,8	sp	sp	6,4	6,1	37,8	31,9	370	8150
22	106	84	4,6	5,0	0	0	6,0	6,0	44,9	47,8	477	10500
19	24	5	3,0	2,8	12,6	13,8	7,9	7,9	22,7	23,7	200	2400
16	25	9	2,0	2,3	7,6	7,7	7,7	7,8	25,2	24,4	183	2200
16	24	8	2,5	2,5	5,8	5,9	7,7	7,6	30,6	30,9	183	2200
13	21	8	2,7	2,8	0,4	0,2	7,6	7,5	24,6	24,5	183	2200
10	16	6	1,8	2,0	2,6	2,4	7,6	7,7	16,6	15,6	180	2700
9	31	22	1,8	1,8	3,4	3,4	7,7	7,8	15,5	15,9	154	4150
10	12	2	2,3	2,3	3,5	3,5	7,6	7,5	13,8	14,1	133	400
10	11	1	1,8	1,8	0,7	0,3	7,6	7,5	12,9	10,0	200	600
6	18	12	1,7	1,6	0,2	0,6	7,2	7,6	8,4	7,7	250	2500
13	21	8	1,8	1,7	4,6	4,8	7,9	7,9	17,5	16,8	164	1800
12	18	6	1,8	1,8	3,6	2,7	7,9	7,7	16,9	16,6	183	2200
13	18	5	1,8	2,1	11,4	11,2	8,1	8,0	17,1	18,6	167	2000
13	19	6	2,1	2,1	6,4	6,4	7,8	7,8	16,0	15,3	167	2000
15	15	0	4,3	4,2	0	0	6,3	6,2	42,6	42,3	250	750
17	17	0	5,4	5,3	0,2	0,2	7,0	7,0	42,5	42,8	250	750
10	12	2	4,8	4,3	0	0	5,3	5,9	43,3	39,9	250	750
12	16	4	5,4	4,5	0	0	5,4	5,5	36,1	28,5	250	750
8	10	1	6,9	8,2	0	0	5,6	5,5	49,3	48,4	250	750
15	15	7	2,7	2,7	sp	sp	7,2	7,2	27,6	24,3	290	6670
8	14	6	3,3	3,4	0	0	4,9	5,0	21,0	18,8	250	1500
8	10	2	2,1	2,4	sp	sp	6,6	6,4	21,4	18,8	240	1680
7	9	2	2,0	1,8	sp	sp	6,6	6,5	11,7	10,2	137	960
5	9	4	13,1	11,3	0	0	5,0	5,5	6,1	5,2	180	1440
4	20	16	5,3	5,1	0	0	5,7	5,8	4,4	4,0	343	2400
5	14	9	5,9	6,0	0	0	5,1	5,1	3,2	2,7	125	375
4	23	19	2,9	4,3	0	0	4,4	4,2	5,7	8,4	94	2070
4	9	5	6,7	6,7	0	0	5,5	5,6	5,0	3,8	121	3150
7	17	10	4,4	4,4	0	0	5,4	5,6	4,4	3,1	250	1750
3	18	15	3,8	3,8	0	0	4,6	4,4	5,7	4,7	165	495
5	17	12	9,9	9,6	0	0	4,7	5,0	5,0	4,3	294	2650
6	21	15	3,5	3,5	0	0	5,3	5,4	4,5	6,0	152	1830
10	16	6	3,7	3,9	0	0	5,5	5,8	5,8	5,3	± 144	± 2600
17	22	5	7,7	8,0	0	0	5,3	5,4	3,6	5,5	± 156	± 3000
6	24	18	4,3	4,5	0	0	5,1	5,4	9,2	8,8	240	4560
7	21	14	23,1	24,1	0	0	4,8	5,1	8,3	8,1	198	1980
16	18	2	38,1	42,3	0	0	5,5	5,8	8,3	6,5	220	440

TABLE 2. Potassium exchangeable and potassium fixed (wet and dry method) of untreated (O) and K-treated (b) object of experimental fields. Furthermore K<sub>2</sub>O in 0.1 N HCl, humus, calciumcarbonate, pH and separate < 2 $\mu$ .

TABEL 3. Natte en droge kalifixatie (in %) van onbemeste en van zwaar met kalium bemeste vakken uit de proefvelden Ammerzoden en De Lange Ossekampen, welke zijn gelegen op oorspronkelijk sterk kalifixerende gronden

No monster (sample)	K-fixatie (K-fixation)		No monster (sample)	K-fixatie (K-fixation)	
	nat (wet) %	droog (dry) %		nat (wet) %	droog (dry) %
Ammerzoden					
589 *	61	84	591	26	69
592 *	58	86	594	28	68
De Lange Ossekampen					
878 *	47	81	866	0	65
879 *	64	81	867	0	59
880 *	67	85	868	16	65
668 *	63	78	872	0	61
638	24	74	873	0	85
640	21	73	874	25	87
643	10	60	919	14	65
669	20	80	921	3	62
671	16	70	923	23	63
			927	9	61
			929	21	75
			933	15	71
			937	19	75
			8840	23	84

\* = onbemeste grond  
(untreated soil)

Ammerzoden: Gedurende 23 jaren bemest met gemiddeld 290 kg  $K_2O$ /ha per jaar; totaal = 6670 kg  $K_2O$ /ha.

K-treated for 23 years with 290 kg  $K_2O$ /ha as an average; total = 6670 kg  $K_2O$ /ha.

De Lange Ossekampen: Gedurende 18 jaren bemest met gemiddeld 456 kg  $K_2O$ /ha per jaar; totaal = 8217 kg  $K_2O$ /ha.

K-treated for 18 years with 456 kg  $K_2O$ /ha as an average; total = 8217 kg  $K_2O$ /ha.

TABLE 3. Wet and dry K-fixation (in %) of untreated and of heavily K-treated objects from experimental fields Ammerzoden and De Lange Ossekampen, which are situated on soils originally strongly fixating potassium



TABEL 4. De hoeveelheid uitwisselbaar en in 0,1 N HCl oplosbaar  $K_2O$  (in 0,001 %) bepaald volgens de natte en de droge methode, van zwak zuur tot zwak alkalisch reagerende gronden met ongeveer evenveel humus en fractie  $< 2\mu$ . Verder de hoeveelheid uitwisselbaar kalium (in m.e./100 g) in % van de totaalhoeveelheid uitwisselbare kationen (in m.e./100 g) en in % van de kationenwaarde (in m.e./100 g).

No grond (sample)	Omschrijving (description)	pH	Humus %	Fractie $< 2\mu$ (separate $< 2\mu$ )	$K_2O$ in 0.1 N HCl 0,001 %	$K_2O$ uitwisselbaar 0,001 % ( $K_2O$ exchangeable)	K-fixatie (K-fixation)		$K_2O$ uitwisselbaar ( $K_2O$ exchangeable) m.e./100 g	Totaal uitwisselbare kationen T.E.C. m.e./100 g	Kationenwaarde C.E.C.	U T.E.C.		U C.E.C.	
							nat (wet)	droog (dry)				$\frac{a}{b} \times 100$	$\frac{a}{c} \times 100$		
RIVIERAFZETTINGEN (river sediments)															
						(1)			(1)	(2)	(3)				
365	Delwijnen . . . . .	6,5	4,3	32,7	8	5	44	78	0,11	30,3	26,2	0,36	0,42		
448	Bruchem . . . . .	7,1	3,5	30,0	34	30	5	25	0,64	22,3	22,0	2,87	2,91		
447	Kerkwijk . . . . .	6,6	3,5	28,4	54	48	12	32	1,02	22,7	21,4	4,49	4,77		
363	Kerkdriel . . . . .	7,6	2,4	30,4	13	8	24	68	0,17	27,4	25,5	0,62	0,67		
364	Kerkdriel . . . . .	6,4	2,8	30,1	16	10	12	60	0,21	23,3	21,9	0,90	0,96		
367	Hedel . . . . .	6,9	2,4	34,6	9	4	45	78	0,08	28,9	25,2	0,28	0,32		
483	Tiel . . . . .	6,5	4,3	33,6	10	5	40	78	0,11	26,1	23,1	0,42	0,48		
545	Geldermalsen . . . . .	6,8	2,3	27,2	35	29	5	56	0,62	22,5	21,3	2,76	2,91		
23	Andel . . . . .	6,7	2,4	30,8	15	10	36	72	0,21	29,9	25,8	0,70	0,81		
560	Biesbosch . . . . .	7,7	4,0	28,6	23	20	17	64	0,42	21,9	20,6	1,92	2,04		
254	Biesbosch . . . . .	7,7	3,7	29,8	14	6	16	57	0,13	25,1	24,2	0,52	0,54		
27	Wageningen . . . . .	7,6	2,4	31,6	23	16	18	62	0,34	27,0	25,8	1,26	1,32		
762	Netterden . . . . .	6,2	3,7	34,1	11	8	18	58	0,17	24,3	21,5	0,70	0,79		
763	Jilsing . . . . .	7,1	2,8	29,6	11	8	18	65	0,17	22,1	19,5	0,77	0,87		
ZEEAFZETTINGEN (marine sediments)															
755	Bellingwolde . . . . .	7,6	3,4	30,9	11	8	16	63	0,17	26,2	24,1	0,65	0,71		
268	Scheemda . . . . .	7,0	3,3	28,9	11	4	22	62	0,08	23,4	21,1	0,34	0,38		
269	Scheemda . . . . .	6,5	3,4	29,5	56	42	1	36	0,89	21,0	19,6	4,24	4,54		
748	Nieuwolde . . . . .	7,5	3,1	34,6	19	12	9	43	0,26	25,0	24,1	1,04	1,08		
739	Midwolde . . . . .	7,0	3,5	29,5	12	9	10	53	0,19	24,1	21,8	0,79	0,87		
742	Drieborg . . . . .	7,6	3,0	28,4	20	14	12	37	0,30	22,9	22,2	1,31	1,35		
352	Westervelde . . . . .	7,6	2,5	30,9	24	18	6	40	0,38	22,5	22,1	1,69	1,72		
353	Westervelde . . . . .	7,7	2,5	30,6	16	9	16	53	0,19	22,8	21,8	0,83	0,87		
219	Dollard . . . . .	7,5	4,5	29,1	95	57	8	15	1,21	20,5	20,3	5,90	5,96		
Zg7	Groetpolder . . . . .	7,5	4,0	27,5	35	24	sp	28	0,51	21,8	21,4	2,34	2,38		
5	N.O. Polder . . . . .	6,8	2,6	34,6	22	18	14	68	0,38	27,1	25,0	1,40	1,52		
136	's Hr Arendskerke . . . . .	7,7	2,7	31,4	36	24	14	37	0,51	24,8	24,0	2,06	2,13		
138	Grouw . . . . .	7,6	2,7	27,5	64	52	11	15	1,10	22,0	21,6	5,00	5,09		
Gemiddeld (average) . . . . .									0,39	24,4	22,7				

(1) De hoeveelheid uitwisselbare K-ionen werd als volgt bepaald: 25 g grond, vermengd met kwartzand (1 : 3), werd in een percolatiebuis gepercoleerd met 250 cc 0,5 N Mg-acetaat. In het percolaat werd kalium bepaald.

(1) Exchangeable K-ions were determined as follows: 25 g of soil was mixed with quartz sand (1 : 3) and percolated in a tube with 250 cc 0,5 N Mg-acetate. In the percolate potassium was determined quantitatively.

(2) De totaalhoeveelheid geadsorbeerde kationen (T.E.C.) werd als volgt bepaald: 25 g grond, vermengd met kwartzand (1 : 3), werd in een percolatiebuis gepercoleerd met 500 cc 0,5 N Na-acetaat (pH = 8,2). Het overtollige zout werd uitgewassen met 250 cc 80 % alcohol, waarna gepercoleerd werd met 250 cc 0,5 N  $NH_4Cl$ . In het percolaat werd natrium bepaald.

(2) The total amount of adsorbed cations = T.E.C. was determined as follows: 25 g of soil was mixed with quartz sand (1 : 3) and percolated in a tube with 500 cc 0,5 N Na-acetate (pH = 8,2). The excess of the salt was washed out with 250 cc 0,5 80% alcohol. Thereafter, the soil-quartz sand mixture was percolated with 250 cc N  $NH_4Cl$  and the amount of sodium was determined quantitatively.

(3) De kationenwaarde (C.E.C.) werd als volgt bepaald: 25 g grond, vermengd met kwartzand (1 : 3), werd in een percolatiebuis gepercoleerd met 500 cc 0,5 N Na-acetaat. Daarop met 250 cc 0,5 N  $NH_4Cl$ . Het overtollige zout werd uitgewassen met 250 cc 80 % alcohol, waarna gepercoleerd werd met 250 cc 0,5 N NaCl. In het percolaat werd het  $NH_4$ -ion bepaald.

(3) Cation exchange capacity = C.E.C. was determined as follows: 25 g of soil was mixed with quartz sand (1 : 3) and percolated in a tube with 500 cc 0,5 N Na-acetate. Thereafter with 250 cc 0,5 N  $NH_4Cl$ . The excess of the salt was washed out with 250 cc 80 % alcohol. Thereafter the soil-quartz sand mixture was percolated with 250 cc 0,5 N NaCl and the  $NH_4$ -ions in the percolate were determined quantitatively.

TABLE 4. Exchangeable  $K_2O$  and  $K_2O$  dissolved by 0.1 N HCl (in 0.001 %) and K-fixation after the wet and the dry method (in %) of weakly acid to weakly alkalic soils with about the same amount of humus and separate  $< 2\mu$ . Furthermore exchangeable potassium (in m.e./100 g) in % of total exchangeable cations = T.E.C. (in m.e./100 g) and in % of cation exchange capacity = C.E.C. (in m.e./100 g).

TABEL 5.  $K_2O$  uitwisselbaar,  $K_2O$  oplosbaar in 0,1 N HCl bij schudden, totaal uitwisselbare kationen (T.U.K.) en kationenwaarde (K.W.) van zwaar met kalium bemeste gronden in het proefveld „De Lange Ossekampen”. Verder kalifixatie volgens de natte en de droge methode in % en  $K_2O$  uitwisselbaar in % van T.U.K. en in % van K.W.

Proefveld (experimental field) „De Lange Ossekampen”

No grond (sample)	$K_2O$ in 0,1 N HCl %	$K_2O$ uitwisselbaar (exchangeable)		Totaal uitwisselbare kationen (T.U.K.) (total exchangeable cations) (T.E.C.)	Kationen- waarde (K.W.) (cation exchange capacity (C.E.C.)	$K_2O$ uitw. T.U.K. $\times 100$ $K_2O$ exch. T.E.C. $\times 100$		$K_2O$ uitw. K.W. $\times 100$ $K_2O$ exch. C.E.C. $\times 100$		K-fixatie (K-fixation)	
		%	m.e.							nat (wet)	droog (dry)
915	0,114	0,091	1,93	26,8	24,2	7,20	7,97	32	79		
917	0,084	0,064	1,36	24,8	22,9	5,48	5,94	2	49		
919	0,080	0,066	1,40	28,7	25,5	4,88	5,49	14	65		
921	0,089	0,072	1,53	28,1	25,7	5,44	5,95	3	62		
923	0,116	0,090	1,91	26,8	24,0	7,13	7,96	23	63		
925	0,137	0,102	2,17	26,8	24,2	8,10	8,97	26	47		
927	0,085	0,064	1,36	29,4	26,9	4,63	5,06	9	61		
929	0,070	0,058	1,23	30,6	27,2	4,02	4,52	21	75		
931	0,068	0,054	1,15	26,8	24,7	4,29	4,66	40	69		
933	0,094	0,072	1,53	29,4	25,2	5,21	6,07	15	71		
935	0,073	0,061	1,30	29,4	26,1	4,42	4,98	43	70		
937	0,064	0,049	1,04	28,7	26,1	3,62	3,98	19	75		
939	0,179	0,114	2,42	30,6	26,5	7,91	9,13	43	70		

TABEL 5.  $K_2O$  exchangeable,  $K_2O$  dissolved by 0,1 N HCl by shaking, total exchangeable cations (T.E.C.) and cation exchange capacity (C.E.C.) of heavily K treated soils from experimental field „De Lange Ossekampen”. Furthermore K-fixation after wet- and dry method in % and  $K_2O$  exchangeable in % of T.E.C. and C.E.C.

TABEL 6. Uitwisselbaar kalium en kalium oplosbaar in 0,1 N HCl bij schudden als gevolg van de toegediende kalimest. Verder kalifixatie van de onbemeste grond bepaald volgens de natte en de droge methode.

No proefveld (experimental field)	No grond- monster (soil sample)		Herkomst (origin)	Aantal jaren proefveld (years experimental field)	Bemesting (1) (treatment)		Verschil (difference) bemest-onbemest (treated-untreated)						K-fixatie onbemest (K-fixation untreated)	
	Onbemest (untreated)	Bemest (treated)			Kg K <sub>2</sub> O/ha		K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (exchangeable K <sub>2</sub> O)		K <sub>2</sub> O oplosbaar in 0,1 N HCl (K <sub>2</sub> O dissolved by 0,1 N HCl)		Natte methode (wet method)	Droge methode (dry method)		
					Totaal (total)	Gemiddeld (average)	0,001 %	Kg K <sub>2</sub> O/ha (2)	% van totaal K <sub>2</sub> O in mest (% of total K <sub>2</sub> O in fertilizer)	0,001 %			Kg K <sub>2</sub> O/ha (2)	% van totaal K <sub>2</sub> O in mest (% of total K <sub>2</sub> O in fertilizer)
Zeeklei (marine clay)														
Pr 90	268	269	Scheemda	22	4050	184	35	1050	26	45	1350	33	22	62
Pr 82	266	267	Bellingwolde	22	8150	370	15	450	6	26	780	10	43	64
Pr 80	308	313	Nw-Beerta	22	10500	477	68	2040	19	84	2520	24	11	38
Wm 380	354	355	Wieringermeer	12	2400	200	3	90	4	5	150	6	11	32
ZHE 302	349	348	O. Beyerland	12	2200	183	10	300	14	9	270	12	17	52
ZHE 341	353	352	Westerveld	12	2200	183	6	180	8	8	240	11	16	53
ZHE 340	403	386	Heenvliet	12	2200	183	2	60	3	8	240	11	14	43
Zavelgrond (marine loam)														
Pr 201	274	275	Pieterzijl	15	2700	180	6	180	7	6	180	7	16	40
Pr 1	272	273	Mensingeweer	27	4150	154	13	390	9	22	660	16	18	43
ZHE 1061	307	311	Ouddorp	10	2500	250	3	90	4	12	306	14	9	22
ZHE 906	309	314	Tinte	11	1800	164	2	60	3	8	240	13	3	20
ZHE 342	351	350	Oudenhoorn	12	2200	183	5	150	7	6	180	8	4	24
ZHE 382	400	399	Hellendoorn	12	2000	167	6	180	9	5	150	8	10	35
ZHE 384	401	402	Haringvliet	12	2000	167	3	90	5	6	180	9	10	29
Rivierklei (river clay)														
OG 991	405	404	Zevenaar	3	750	250	0	0	0	0	0	0	39	73
OG 990	385	384	Duiven	3	750	250	0	0	0	0	0	0	34	70
ZGE 596	341	340	Asch	3	750	250	1	30	4	2	60	8	29	59
ZGE 595	343	342	Ophemert	3	750	250	2	60	8	4	120	16	20	56
ZGE 594	344	345	Kerkwijk	3	750	250	1	30	4	1	30	4	55	70
K. Imp. Mij	589	591	Ammerzoden	23	6670	290	4	120	2	7	210	3	61	84
ZGE 378	346	347	Horssen	6	1500	250	2	60	4	6	180	12	13	64
Löss (loess)														
L 802	394	393	Wijnandsrade	7	1680	240	4	120	7	2	60	4	11	38
L 804	396	395	Beek	7	960	137	3	90	9	2	60	6	6	15
Zandgrond (sand)														
Pr 734	264	265	Opende	8	1440	180	1	30	2	4	120	8	6	12
Pr 754	276	277	Opende	7	2400	343	12	360	15	16	480	20	8	9
Pr 65	300	305	Hooghalen	22	2070	94	15	450	22	19	570	28	3	4
OF 2	356	357	Drachten	26	3150	121	6	180	6	5	150	5	4	8
NOB 44	338	339	Erp	7	1750	250	6	180	10	10	300	17	2	16
Pr 646	278	279	Marum	9	2650	294	12	360	14	12	360	14	8	8
L 360	398	397	Stramproy	12	1830	152	12	360	20	15	450	25	5	9
Esgrond (old arable sandy soil)														
NGE 81	389	387	Haarlo	18	±2600	±144	7	210	8	6	180	7	sp	10
NGE 73	390	388	Ruurlo	19	±3000	±156	5	150	5	5	150	5	4	26
OO 61	392	391	Lutte	19	4560	240	10	300	7	18	540	12	10	21
Dalgrond (reclaimed peaty subsoil)														
ZGr 148	315	319	B. Compagnie	10	1980	198	11	330	17	14	420	21	3	4

(1) Het proefveld Ammerzoden werd bemonsterd in het najaar van 1950. Alle andere proefvelden in het najaar van 1949.

(2) The soils of experimental fields Ammerzoden were sampled in autumn of 1950. Those of the other experimental fields in autumn of 1949.

(3) De grondmonsters werden gestoken uit de bouwvoor 0-20 à 0-25 cm, doch dit werd bij de berekeningen gesteld op 0-25 cm, met daarbij een volumegewicht van 1,2.

(4) The soil samples were collected from the ploughed soil 0-20 à 0-25 cm, but at the calculations this was assumed to be 0-25 cm and having thereby a volume weight of 1,2.

OPMERKING. De proefvelden Pr 952, Pr 951, Pr 964, Pr 929 en Pr 982, waarbij de hier onderzochte monsters < 750 kg K<sub>2</sub>O/ha ontvingen, zijn in deze tabel weggelaten. Kleine grondverschillen in het proefveld en kleine verschillen in de diepte waarop het monster werd gestoken, geven in dit geval n.l. grote afwijkingen in de uitkomsten.

NOTE. Experimental fields Pr 952, Pr 951, Pr 964, Pr 929 and Pr 982 which all received < 750 kg K<sub>2</sub>O/ha are omitted in this table. Small irregularities in the soil of the experimental field and small differences in the depth to which the sample is collected, are in this case of great influence on the results.

sp = sporen (traces)

TABLE 6. Exchangeable K<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O dissolved by 0.1 N HCl on account of K-fertilizer applied. Furthermore K-fixation after wet and dry method.

TABEL 7. De totaalhoeveelheid kalium in de onbemeste objecten van verschillende proefvelden. Verder he 1,2) na correctie voor de hoeveelheid uitwisselbaar kalium, voor een ongelijke hoeveelheid fracti aan fractie < 2 $\mu$ .

No grond- monster (soil sample)		Herkomst (origin)	Kalimest toegediend (applied K-fertilizer) kg K <sub>2</sub> O/ha (1)		meer K <sub>2</sub> O uitwissel- baar door K-mest (more K <sub>2</sub> O exchange- able by K-fertilizer) kg K <sub>2</sub> O/ha	Totaal K <sub>2</sub> O (total K <sub>2</sub> O)		Verschil totaal K <sub>2</sub> O be (difference total K <sub>2</sub> O)		
onbemest (untreated)	bemest (treated)		per jaar (per year)	totaal (total)		onbemest (untreated)	bemest (treated)	(2)		na correctie voor K <sub>2</sub> O uitwisselbaar (after correction for K <sub>2</sub> O exchangeable)
						%	%	%	kg K <sub>2</sub> O/ha	
<b>Zeeklei (marine clay)</b>										
268	269	Scheemda . . . . .	184	4050	1050	1,42	1,54	+0,12	+3600	+2550
266	267	Bellingwoide . . . . .	370	8150	450	1,48	1,44	-0,04	-1200	-1650
308	313	Nw. Beerta . . . . .	477	10500	2040	1,92	2,00	+0,08	+2400	+360
354	355	Wieringermeer . . . . .	200	2400	90	1,42	1,44	+0,02	+600	+510
<b>Zavelgrond (marine loam)</b>										
274	275	Pieterzijl . . . . .	180	2700	180	1,36	1,34	-0,02	-600	-780
272	273	Mensingeweer . . . . .	244	4150	390	1,35	1,40	+0,05	+1500	+1100
351	350	Oudenhooorn . . . . .	184	2200	150	1,42	1,40	-0,02	-600	-750
400	399	Hellendoorn . . . . .	167	2000	180	1,42	1,48	+0,06	+1800	+1620
401	402	Haringvliet . . . . .	167	2000	90	1,44	1,44	0	0	90
<b>Rivierklei (river clay)</b>										
344	345	Kerkwijk . . . . .	250	750	30	1,66	1,64	-0,02	-600	-630
346	347	Horssen . . . . .	200	1500	60	1,46	1,42	-0,04	-1200	-1260
589	591	Ammerzoden . . . . .	290	6670	120	1,63	1,70	+0,07	+2100	+1980
<b>Löss (loess)</b>										
396	395	Beek . . . . .	137	960	90	1,62	1,59	-0,03	-900	-990
<b>Zandgrond (sand)</b>										
398	397	Stamproy . . . . .	83	1830	360	0,54	0,55	+0,01	+300	-60
300	305	Hooghalen . . . . .	94	2070	450	0,80	0,86	+0,06	+1800	+1350
356	357	Drachten . . . . .	122	3150	180	0,67	0,70	+0,03	+900	+720
278	279	Marum . . . . .	294	2650	360	0,50	0,52	+0,02	+600	+450
<b>Esgrond (old arable soil)</b>										
389	387	Haarlo . . . . .	144	ca 2600	210	0,72	0,69	-0,03	-900	-1110
390	388	Ruurlo . . . . .	158	ca 3000	150	0,74	0,76	+0,02	+600	+450
392	391	Lutte . . . . .	240	4560	300	0,77	0,80	+0,03	+900	+600
<b>Dalgrond (reclaimed peaty soil)</b>										
315	319	B. Compagnie . . . . .	165	1980	330	0,58	0,62	+0,04	+1200	+990

- (1) De hoeveelheid kalium toegediend per jaar is opgegeven als een gemiddeld cijfer.
- (1) Potassium applied per year is noted as an average amount.
- (2) De grondmonsters werden gestoken uit de bouwvoor = 0-20 à 0-25 cm, doch dit werd bij de berekeningen gesteld op = 0-25 cm met daarbij een volumegewicht = 1,2.
- (2) The soil samples were collected from the ploughed soil = 0-20 à 0-25 cm, but at the calculations this was assumed to be = 0-25 cm and having thereby a volume weight of = 1,2.
- (3) Volgens ervaring kunnen totaal K<sub>2</sub>O analyses van één en dezelfde grond tot ca 0,060 % K<sub>2</sub>O uiteenlopen. Bij een betrouwbaarheid van 98,7 % is dit dus gelijk aan ca 5 × de standaardafwijking van de enkele waarneming (5 × s) van deze analyse. De s van het verschil tussen bemeste- en onbemeste grond wordt dus  $\sqrt{2 \times 0,012} = 0,0168$  % K<sub>2</sub>O. Het toelaatbare verschil (98,7 % zekerheid) tussen bemest en onbemest wordt dan 5 × 0,0168 = 0,0840 %, hetgeen omgerekend op een bouwvoor van 25 cm en een volumegewicht van de grond van 1,2 geeft = 2520 kg K<sub>2</sub>O/ha.
- (3) Experience learns that % K<sub>2</sub>O of a total analysis of a soil may differ from each other to ca 0,060 % = ca 5 × the standard deviation of the single determination (5 × s) of this analysis assuming a probability of 98,7 %; the s for the difference between treated and untreated soil will be  $\sqrt{2 \times 0,012} = 0,0168$  % K<sub>2</sub>O. From this results a tolerable difference (98,7 % certainty) between treated and untreated soil of 5 × 0,0168 = 0,0840 % K<sub>2</sub>O or calculated on 25 cm (and volume weight = 1,2) of = 2520 kg K<sub>2</sub>O/ha.
- (4) Bij een verschil in K<sub>2</sub>O gehalte tussen de fractie < 2 $\mu$  en de fractie > 2 $\mu$  voor zeeklei van ca 1,6 % (2,6 % - 1,0 %), voor zavelgrond van ca 0,8 (2,0 % - 1,2 %), voor rivierklei van ca 0,7 (2,0 % - 1,3 %), voor löss van ca 0,7 (2,2 % - 1,5 %) voor zand en esgrond van ca 1,2 % (1,9 % - 0,7 %) en voor dalgrond van ca 1,4 % (1,9 % - 0,5 %), krijgt men derhalve per 1 % verschil in de fractie < 2 $\mu$  een afwijking in kg K<sub>2</sub>O per ha van resp. ca 480 (zeeklei), 240 (zavelgrond), 210 (rivierklei), 210 (löss), 360 (zand en esgrond) en 420 (dalgrond).
- (4) From the difference in K<sub>2</sub>O % of separate < 2 $\mu$  and separate > 2 $\mu$  for marine clay of ca 1,6 % (2,6 % - 1,0 %) for marine loam of ca 0,8 % (2,0 % - 1,2 %) for river clay of ca 0,7 % (2,0 % - 1,3 %) for loess of

TABEL 7. The total amount of K<sub>2</sub>O in untreated and treated objects of several experimental fields. Furthermore correction for exchangeable K<sub>2</sub>O and for unequal % of separate < 2 $\mu$  and for fault of analysis of total

verschil tussen beide objecten in kg K<sub>2</sub>O/ha bij een diepte van de bouwvoor van 25 cm (en volumegewicht = < 2μ en voor de analysefout bij de bepaling van het totaal kaligehalte in de grond zomede van het percentage

mest-onbemest <i>treated-untreated</i> )		Fractie $< 2\mu$ ( <i>separate</i> $< 2\mu$ )			Correctie voor kalium veroorzaakt door ver- schil in % fractie $< 2\mu$ ( <i>Correction for pot- assium caused by unequal % separate <math>&lt; 2\mu</math></i> )			Verschil totaal K <sub>2</sub> O bemest-onbemest gecorrigeerd ( <i>difference total K<sub>2</sub>O treated-untreated corrected</i> )			K-fixatie onbemest ( <i>K-fixation untreated</i> )	
(3) variatie ( <i>variation</i> ) kg K <sub>2</sub> O/ha		onbemest ( <i>untreated</i> )	bemest ( <i>treated</i> )	verschil ( <i>difference</i> )	(4) kg K <sub>2</sub> O/ha	(6) variatie ( <i>variation</i> ) kg K <sub>2</sub> O/ha		kg K <sub>2</sub> O/ha	(7) variatie ( <i>variation</i> ) kg K <sub>2</sub> O/ha		natte methode ( <i>wet method</i> )	droge methode ( <i>dry method</i> )
min.	max.	%	%	%		min.	max.		min.	max.	%	%
+1290 -2910 - 900 - 750	+3810 - 390 +1620 +1770	28,9 37,8 44,9 22,7	29,5 31,9 47,8 23,7	+0,6 -5,9 +2,9 +1,0	+ 288 -2832 +1392 + 480	- 48 -3168 +1056 + 144	+ 624 -2496 +1728 + 816	+2262 +1182 -1032 + 30	+1000 - 100 -2300 -1300	+3600 +2500 + 300 +1300	22 43 11 11	62 64 38 32
-2040 - 150 -2010 + 360 -1350	+ 480 +2370 + 510 +2880 +1170	16,6 15,5 16,9 17,1 16,0	15,6 15,9 16,6 18,6 15,3	-1,0 +0,4 -0,3 +1,5 -0,7	- 240 + 96 - 72 + 360 - 168	- 408 - 72 - 240 + 192 - 336	- 72 + 264 + 96 + 528 0	- 540 +1014 - 678 +1260 + 78	-1800 - 300 -1900 0 -1200	+ 700 +2300 + 600 +2500 +1300	16 18 4 10 10	40 43 24 35 29
-1890 -2520 + 720	+ 630 0 +3240	49,3 21,0 27,6	48,4 18,8 24,3	-0,9 -2,2 -3,3	- 189 - 462 - 693	- 336 - 609 - 840	- 42 - 315 - 546	- 441 - 798 +2673	-1700 -2100 +1400	+ 800 + 500 +3900	55 13 61	70 64 84
-2250	+ 270	11,7	10,2	-1,5	- 315	- 462	- 168	- 675	-1900	+ 600	6	15
-1320 + 90 - 540 - 810	+1200 +2610 +1980 +1710	4,5 5,7 5,0 5,0	6,0 8,4 3,8 4,3	+1,5 +2,7 -1,2 -0,7	+675(5) +972 -432 -315(5)	+ 360 + 720 - 684 - 630	+ 990 +1224 - 180 0	- 735 + 378 +1152 + 765	-2000 - 900 - 100 - 500	+ 600 +1700 +2400 +2100	5 3 4 8	9 4 8 8
-2370 - 810 - 660	+ 150 +1710 +1860	5,8 3,6 9,2	5,3 5,5 8,8	-0,5 +1,9 -0,4	- 180 + 684 - 144	- 432 + 432 - 396	+ 72 + 936 + 108	- 930 - 234 + 744	-2200 -1500 - 500	+ 400 +1100 +2000	sp 4 10	10 26 21
- 270	+2250	8,3	8,1	-0,2	- 84	- 378	+ 210	+1074	-2400	- 200	3	4

ca 0.7 % (2.2 % — 1.5 %) for sand and old arable sandy soil of ca 1.2 % (1.9 — 0.7 %) and for reclaimed peaty subsoil of ca 1.4 % (1.9 % — 0.5 %) results a deviation per 1 % difference of the amount of separate < 2μ calculated on kg K<sub>2</sub>O per ha of respectively ca 480 (marine clay), 240 (marine loam), 210 (river clay), 210 (loess), 360 (sand and old arable sandy soil) and 420 (reclaimed peaty subsoil).

(5) Bij deze zandgronden bedraagt het K<sub>2</sub>O-gehalte van de fractie > 2μ slechts ca 0,4 %, derhalve is hier de afwijking per 1 % verschil tussen de hoeveelheid fractie < 2μ en de hoeveelheid fractie > 2μ = ca 450 kg K<sub>2</sub>O/ha.

(5) The separate > 2μ of these sands contains only ca 0.4 % total K<sub>2</sub>O; from this results a deviation per 1 % difference between the amount of separate < 2μ and the amount of separate > 2μ of ca 450 kg K<sub>2</sub>O/ha.

(6) Volgens ervaring kunnen analyses van de fractie < 2μ van één en dezelfde grond tot ca 1 % uiteenlopen; bij een betrouwbaarheid van 98,7 % is dit dus gelijk aan ca 5 × de s van deze analyse. De s van het verschil tussen de hoeveelheid fractie < 2μ uit de onbemeste grond wordt dus  $\sqrt{2 \times 0,2} = 0,28 \%$ . Het toelaatbare verschil (98,7 % zekerheid) tussen bemest en onbemest wordt dan  $5 \times 0,28 = 1,4 \%$ .

(6) Experience learns that separate < 2μ of a soil may differ from each other to ca 1 % = 5 × the standard deviation for the single determination (5 × s) of this analysis assuming a probability of 98.7 %; the s of the difference between treated and untreated soil thus will be  $\sqrt{2 \times 0,2} = 0,28 \%$ . From this results a tolerable difference (98.7 certainty) between treated and untreated soil of  $5 \times 0,28 = 1,4 \%$ .

(7) De s van de som of het verschil van 2 grootheden A = kalium gefixeerd door de bemeste grond in kg K<sub>2</sub>O/ha en B = correctie voor de hoeveelheid kalium in de fractie < 2μ in kg K<sub>2</sub>O/ha. elk behept met een zekere s = respect. s<sub>A</sub> en s<sub>B</sub> bedraagt zoals bekend  $= \sqrt{s_A^2 + s_B^2}$ .

(7) The standard deviation of the single determination = s of the sum (or difference) of 2 quantities A = potassium fixed by the treated soil in kg K<sub>2</sub>O/ha and B = correction for the amount of potassium in separate < 2μ in kg K<sub>2</sub>O/ha, each affected with a certain s = respectively s<sub>A</sub> and s<sub>B</sub> =  $\sqrt{s_A^2 + s_B^2}$ .  
sp = sporen (traces).

the difference between both objects in kg K<sub>2</sub>O/ha (soil sample = 0–25 cm and volume weight = 1.2) after K<sub>2</sub>O of the soil and of % separate < 2μ.

TABEL 8. Gefixeerd kalium in kg  $K_2O$ /ha over 23 jaren door de met kalium bemeste gronden van proefveld Ammerzoden bij een monsterdiepte van 0-25 en 25-50 cm berekend uit het totaal  $K_2O$ -gehalte van de fractie  $< 2\mu$ . Verder in vergelijking met de hoeveelheid kalium welke niet door de gewassen is opgenomen berekend uit de oogstbalans.<sup>1</sup>

No grondmonster (soil sample) (1)	589	590	591
Bemesting (treatment) (1)	0 K	1 K	2 K
<b>A. FRACTIE <math>&lt; 2\mu</math> (separate <math>&lt; 2\mu</math>) (2)</b>			
$K_2O$ totaal - $K_2O$ uitwisselbaar ( $K_2O$ total - $K_2O$ exchangeable) . . . . .	1,92	2,11	2,21
$K_2O$ gefixeerd = verschil t.o.v. onbemest . . . . . } in %		0,19	0,29
( $K_2O$ fixed = difference against untreated)			
Standaardafwijking van de enkele waarneming (s) (3) . . . . . } in %		0,011	0,011
(standard deviation of the single determination (s))			
<b>B. OORSPRONKELIJKE GROND (original soil)</b>			
Fractie $< 2\mu$ (separate $< 2\mu$ ) . . . . . } in %	27,6	28,8	24,3
Standaardafwijking van de enkele waarneming (s) (4) . . . . . } in %		0,2	0,2
(standard deviation of the single determination (s))			
$K_2O$ gefixeerd door de oorspronkelijke grond berekend uit $K_2O$ gefixeerd door fractie $< 2\mu$ . . . . . } in %		0,0547	0,0705
( $K_2O$ fixed by original soil calculated from $K_2O$ fixed by separate $< 2\mu$ )			
$2,5 \times$ de standaardafwijking van de enkele waarneming (s) (5) . . . . . } in %		0,0080	0,0067
( $2,5 \times$ the standard deviation of the single determination (s))			
Toelaatbare variatie voor $K_2O$ gefixeerd door de grond . . . . . } in %		0,0467 tot	0,0638 tot
(tolerable variation for $K_2O$ fixed by the soil)		(to) 0,0627	(to) 0,0772
Als boven doch in kg $K_2O$ /ha (6) (as foregoing but in kg $K_2O$ /ha)		1400 tot	1900 tot
		(to) 1900	(to) 2300
		90	120
<b>Méer <math>K_2O</math> uitwisselbaar door bemesting bij monsterdiepte 0-25 cm (more <math>K_2O</math> exchangeable by K-treatment for soil sample 0-25 cm) } in kg/ha</b>			
<b>C. KALIBALANS (potassium-crop balance)</b>			
Totaal $K_2O$ in gewas over 16 jaren (total $K_2O$ in crops over 16 years) . . . . .		1669	2123
Méer $K_2O$ in gewas door toegediende kalimest over 16 jaren . . . . . } in kg/ha		717	1171
(more $K_2O$ in crops caused by K applied over 16 years)			
Als boven doch berekend over 23 jaren . . . . . } in kg/ha		1031	1683
(as foregoing but calculated over 23 years)			
$2,5 \times$ de standaardafwijking van de enkele waarneming van de oogstbalans = 5 % (7) . . . . . } in kg/ha		51	84
( $2,5 \times$ the standard deviation of the single determination for the crop balance = 5 %)			
Toelaatbare variatie voor de oogstbalans . . . . . } in kg/ha		980 tot	1599 tot
(tolerable variation for the crop balance)		(to) 1082	(to) 1767
$K_2O$ toegediend in bemesting over 23 jaren ( $K_2O$ applied in 23 years) . . . . .		3210	6670
$K_2O$ niet opgenomen door gewas uit toegediende kalibemesting . . . . . } in kg/ha		2100 tot	4900 tot
( $K_2O$ not removed by crops from potassium applied)		(to) 2200	(to) 5100

<sup>1</sup> De cijfers van de oogstbalans zijn ontleend aan TEMME en VAN DER MAREL (1952).

<sup>2</sup> The ciphers of the crop balance are derived from TEMME and VAN DER MAREL (1952).

TABEL 8. Potassium fixed in kg  $K_2O$ /ha by the potassium treated soils of experimental field Ammerzoden of the soil sample = 0-25 and 25-50 cm. Calculated from total  $K_2O$  of separate  $< 2\mu$ . Furthermore against the amount of  $K_2O$  in kg/ha not removed by the crops calculated from the potassium-crop-balance.<sup>1</sup>

- (1)  $0K, 1K, 2K$  = opklimmende hoeveelheden kalimest welke werden toegediend.  
 (1)  $0K, 1K, 2K$  = increasing amounts of potassium applied.
- (2) De fractie  $< 2\mu$  werd verkregen volgens de methode Atterberg na voorbehandeling met  $H_2O_2$  gevolgd door filtratie en bij gebruik van  $0.1 N NH_4OH$  als peptisator.  
 (2) *Separate  $< 2\mu$  was obtained after the Atterberg method and after pretreatment of the soil with  $H_2O_2$  followed by filtration and of  $0.1 N NH_4OH$  as peptisator.*
- (3) Volgens ervaring kunnen totaalanalyses van de fractie  $< 2\mu$  tot ca  $0.040\%$   $K_2O$  uiteenlopen. Bij een betrouwbaarheid van  $98.7\%$  is dit dus gelijk aan ca  $5 \times$  de standaardafwijking van de enkele waarneming ( $5 \times s$ ) van deze analyse. De  $s$  van het verschil tussen bemeste- en onbemeste grond wordt dus  $\sqrt{2 \times 0.008} = 0.011\%$   $K_2O$ . De kleine fout, waarmede de bepaling van de hoeveelheid uitwisselbaar kalium van de fractie  $< 2\mu$  is behept ( $s = 0.0006\%$   $K_2O$ ), werd bij de berekeningen verwaarloosd.  
 (3) *Experience learns that  $\% K_2O$  of a total analysis of the separate  $< 2\mu$  may differ from each other to ca  $0.050\%$   $K_2O$  = ca  $5 \times$  the standard deviation of the single determination ( $5 \times s$ ) for this analysis assuming a certainty of  $98.7\%$ ;  $s$  of the difference between treated and untreated soil, will be  $\sqrt{2 \times 0.008} = 0.11\%$   $K_2O$ . The small fault adherent to the determination of the amount of exchangeable  $K_2O$  ( $s = 0.0006\%$   $K_2O$ ) is neglected at these calculations.*
- (4) Volgens ervaring kunnen analyses van de fractie  $< 2\mu$  van één en dezelfde grond tot ca  $1\%$  uiteenlopen; bij een betrouwbaarheid van  $98.7\%$  is dit dus gelijk aan ca  $5 \times$  de standaardafwijking van de enkele waarneming ( $5 \times s$ ).  
 (4) *Experience learns that  $\% \text{ separate } < 2\mu$  of the soil may differ from each other to ca  $1\%$  =  $5 \times$  the  $s$  of this analysis assuming a certainty of  $98.7\%$ .*
- (5) De standaardafwijking van de enkele waarneming ( $s$ ) van het product van 2 grootheden  $A = \% K_2O$  gefixeerd door de fractie  $< 2\mu$  en  $B = \% \text{ fractie } < 2\mu$ , elk behept met een zekere  $s = \text{resp. } s_A \text{ en } s_B$  bedraagt zoals bekend  $\sqrt{(As_B)^2 + (Bs_A)^2}$ .  
 (5) *The  $s$  of the product of 2 quantities,  $A = \% K_2O$  fixed by the separate  $< 2\mu$  and  $B = \% \text{ separate } < 2\mu$ , each affected with a certain  $s = \text{respect. } s_A \text{ and } s_B = \sqrt{(As_B)^2 + (Bs_A)^2}$ .*
- (6) Het grondmonster werd gestoken van  $0-25$  cm en het volumegewicht van de grond werd gesteld op  $= 1.2$ .  
 (6) *Soil sample was collected from  $0-25$  cm and volume weight of the soil is assumed to be  $b = 1.2$ .*
- (7) De variatie voor de kalioogstbalans werd hier gesteld op  $10\%$ .  
 (7) *Variation in the potassium crop balance is assumed here to be  $10\%$ .*

TABEL 9.  $K_2O$  oplosbaar in 0,1 N HCl (in 0,001 %) bij schudden en  $K_2O$  uitwisselbaar (in 0,001 %) bij grondmonsters gestoken op verschillende diepte op het proefveld Ammerzoden. Verder kalifixatie volgens de natte en de droge methode (in %).

Omschrijving (description)	Bemesting (treatment)	Veld (field) 9			Veld (field) 12		
		0-25 cm	25-50 cm	50-75 cm	0-25 cm	25-50 cm	50-75 cm
$K_2O$ oplosbaar in 0,1 N HCl bij schudden in 0,001 % ( $K_2O$ dissolved by 0.1 N HCl by shaking in 0.001 %)	0-K	8	9	6	8	11	8
	1-K	13	10	6	13	12	8
	2-K	18	9	5	20	11	7
$K_2O$ uitwisselbaar in 0,001 % ( $K_2O$ exchangeable in 0.001 %)	0-K	2	1	1	1	1	1
	1-K	4	2	1	4	3	2
	2-K	8	2	1	9	2	1
Kalifixatie (potassium fixation) in % a - natte methode (wet method)	0-K	60	69	71	59	67	71
	1-K	45	67	73	49	66	75
	2-K	24	64	66	30	60	64
b - droge methode (dry method)	0-K	78	82	83	80	80	83
	1-K	74	80	81	76	78	83
	2-K	64	80	83	70	76	84

0-K, 1-K, 2-K = toenemende hoeveelheden kalimest welke werden aangewend (increasing amounts of potassium applied).

TABEL 9.  $K_2O$  dissolved in 0.1 N HCl (in 0.001 %) by shaking and  $K_2O$  exchangeable (in 0.001 %) of soil samples experimental field of Ammerzoden from different layers. Furthermore K-fixation after wet and dry method (in %).



TABEL 10. De hoeveelheid kalium in kg  $K_2O$ /ha welke door achtereenvolgende percolaties met zoutzuur wordt opgelost uit de onbemeste grond van het proefveld Ammerzoden na verschillende voorbehandelingen met een verzadigde KCl-oplossing. Verder de hoeveelheid kalium in kg/ha welke door de bemeste grond is gefixeerd uit de toegediende kalimest, zomede de hoeveelheid kalium in kg/ha welke niet door de gewassen uit de kalimest is opgenomen.<sup>(1)</sup>

Inwerkingsduur van de verzadigde KCl-oplossing (kind of contact with saturated KCl solution)	0,5 uur schudden (2)	2 weken overstaan (3)	1 × droog- dampen + 1 uur schudden (4)	6 × bevochtigen en droog- dampen + 1 uur schudden (5)
Omschrijving (description)				
Kg $K_2O$ /ha welke wordt opgelost bij percolatie van 25 g grond met 750 cc 0,1 N HCl nadat tevoren de overmaat KCl en het uitwisselbare kalium zijn verwijderd door percolatie met 750 cc 0,05 N HCl (kg $K_2O$ /ha dissolved by percolation of 25 g of soil with 750 cc 0,1 N HCl after that the excess of KCl and exchangeable potassium are removed by percolation with 750 cc 0,05 N HCl)	A 510	570	600	690
Kg $K_2O$ /ha welke wordt opgelost bij daaropvolgende percolatie van de grond met 750 cc 10 % HCl (kg $K_2O$ /ha dissolved by successive percolation of the soil with 750 cc 10 % HCl)	1440	1560	1680	1830
Totaal $K_2O$ van de grond = $K_2O$ opgelost bij percolatie van g grond met achtereenvolgens 750 cc 0,05 N HCl, 750 cc 0,1 N HCl en 750 cc 10 % HCl in kg/ha (total $K_2O$ of the soil = $K_2O$ dissolved by percolation of 25 g of soil with successively 750 cc 0,05 N HCl, 750 cc 0,1 N HCl and 750 cc 10 % HCl in kg/ha)	B 1230	2820	4440	6330
$\frac{A}{B} \times 100$	41	20	14	11

Omschrijving (description)	Bemesting (treatment) (6)	1 K	2 K
Toegediende bemesting in kg $K_2O$ /ha gedurende 23 jaren . . . . } (applied in kg $K_2O$ /ha in course of 23 years)		3210	6670
Kg $K_2O$ /ha gefixeerd door de bemeste grond uit de toegediende kalimest en berekend uit de toename in het kaligehalte van de fractie < 2 $\mu$ (kg $K_2O$ /ha fixed by the K-treated soil from potassium applied and calculated from the increased total $K_2O$ % of separate < 2 $\mu$ )		1400 tot (to) 1900	1900 tot (to) 2300
Als boven doch in % van kalium toegediend in bemesting . . . . } (as foregoing but in % of potassium applied)		44 tot (to) 59	28 tot (to) 34
Méer kg $K_2O$ in de gewassen door de toegediende kalimest . . . . } (more kg $K_2O$ in the crops by potassium applied)		1000 tot (to) 1100	1600 tot (to) 1800
Als boven, doch in % van kalium toegediend in bemesting . . . . } (as foregoing but in % of potassium in manure)		31 tot (to) 34	24 tot (to) 27

De berekeningen zijn betrokken op een bouwvoor van 0-25 cm en een volumegewicht van de grond = 1,2.  
Calculations are based on soil sample = 0-25 cm and a volume weight = 1,2.

(1) Zie voor nadere gegevens TEMME en VAN DER MAREL (1952). See for further details TEMME and VAN DER MAREL (1952).

(2) After shaking 0.5 hour with a saturated KCl solution.

(3) After standing over 2 weeks and thereafter shaking 1 hour with a saturated KCl solution.

(4) After drying 1 × and shaking 1 hour with a saturated KCl solution.

(5) After wetting and drying (6 ×) and shaking 1 hour with a saturated KCl solution.

(6) 1 K, 2 K = toenemende hoeveelheden kalimest welke werden toegediend = resp. gemiddeld 140 en 290 kg  $K_2O$ /ha en in totaal = resp. 3210 en 6670 kg  $K_2O$ /ha.

1 K, 2 K = increasing amounts of potassium applied = respect. 140 and 290 kg  $K_2O$ /ha as an average and = respect. 3210 and 6670 kg  $K_2O$ /ha in total.

TABLE 10.  $K_2O$  in kg/ha dissolved by successive percolations with HCl from the untreated plot of experimental field Ammerzoden after pretreatment of the soil with a saturated KCl solution. Furthermore  $K_2O$  in kg/ha which is fixed by the potassium treated soil from the applied fertilizer and  $K_2O$  in kg/ha not removed by the crops from the applied fertilizer.



1954	A	B	C	ERWT (pea)			AARDAPPEL (potato)			HAVER (oat)			AARDAPPEL (potato)						
				26,9	25,9	33,1	40,6	24,1	25,9	29,7	27,4	44,4	41,3	49,6	43,3	20,8	11,0		
				23,7	27,5	31,6	41,4	22,5	27,4	28,7	25,8	43,7	44,4	44,8	43,7	44,4	43,3	20,8 <td>11,0</td>	11,0
				17,6	29,2	31,6	42,2	19,8	24,3	25,4	28,7	45,2	44,1	51,2	50,0	31,6	28,9	30,0	32,0

0, 100, 250, 400 = toegedijende kalimest in kg K<sub>2</sub>O/ha (applied fertilizer in kg K<sub>2</sub>O/ha).

(1) Alle opbrengsten zijn hier te laag, doordat het gewas veel last had van de bladrandkever.  
*Yields too low because crop was infested by potato leaf weevil.*

(2) Alle opbrengsten zijn hier te laag, doordat het gewas in een vroeg stadium veel last had van onkruid.  
*Yields too low because crop in an early stage overgrown by weeds.*

(3) Alle opbrengsten zijn hier te laag, doordat het gewas veel last had van bladrol-virus ziekte.  
*Yields too low because crop was infected by leaf roll-virus disease.*

(4) Alle opbrengsten zijn hier te laag, doordat het gewas als gevolg van overmaat aan stikstof te geil stond.  
*Yields too low because crop produced too much leaves on account of too much N fertilizer applied.*

De opbrengsten zijn ontleend aan de proefveldverslagen van de Rijkslandbouwconsulenten te Tiel en Geldermalsen.  
*Yields are derived from the experimental field reports of the Government agricultural advisers at Tiel and Geldermalsen.*

#### GRONDANALYSES (soil analyses)

Proefveld (experimental field)	No grond (soil)	Bemesting (treatment) kg K <sub>2</sub> O/ha	pH	CaCO <sub>3</sub> %	Humus %	Fractie (separate) < 2μ %	K <sub>2</sub> O in 0,001 % bij schudden met 0,1 N HCl (after shaking with)		K-fixatie %		Morgan extract (2)				Totaal uitwisselb. katio- nen m.e./100 g (T.E.C.) 5		Uitwisselb. kationen (6) (exchangeable cations) in m.e.				
							0,1 N HCl	0,5 N Mg-acetaat	nat (wet)	droog (dry)	K p.p.m.	Ca p.p.m.	Mg p.p.m.	Ca + Mg : K	K	Ca	Mg	$\frac{T.E.C.}{K} \times 100$	Ca + Mg : K		
Kerkwijk ZGE 594	344 345	0 250	5,6 5,5	0 0	6,9 8,2	49,3 48,4	9 10	1 2	55 51	70 68	3 4	1396 1376	179 160	1057 803	39,0 38,1	0,21 0,21	27,5 26,6	4,3 4,6	0,5 0,6	151 149	
Asch ZGE 596	341 340	0 250	5,3 5,9	0 0	4,8 4,3	43,3 39,9	10 12	4 5	29 23	59 46	7 9	1181 1197	140 130	395 306	30,6 28,1	0,30 0,30	20,8 20,3	3,5 3,0	1,0 1,1	81 78	
Zevenaar OGE 591	405 404	0 250	6,3 6,2	0 0	4,3 4,2	42,6 42,3	15 13	5 5	39 39	73 70	12 13	1560 1453	260 279	321 290	28,6 28,1	0,25 0,34	21,6 20,8	3,3 3,3	0,9 1,2	100 71	
Horsen ZGE 378	346 347	0 250	4,9 5,0	0 0	3,3 3,4	21,0 18,8	8 14	5 7	13 12	64 50	8 18	577 552	55 48	163 68	15,4 15,0	0,32 0,42	8,0 7,6	1,1 1,1	2,1 2,8	28 21	
Ophemert ZGE 595	343 342	0 250	5,4 5,5	0 0	5,4 4,5	36,1 28,5	12 16	4 6	20 19	56 56	10 15	962 954	123 117	224 151	24,8 24,5	0,30 0,38	15,6 14,9	3,5 3,8	1,2 1,5	64 49	

\* Zie (see) TENNIE en VAN DER MAREL (1953)

TABLE 11. Yields of experimental fields at Kerkwijk (ZGE 596), Asch (ZGE 596), Zevenaar (OGE 591), Horsen (ZGE 378) and Ophemert (ZGE 595) in q/ha and after treating with 0, 100, 250 and 400 kg K<sub>2</sub>O/ha. Furthermore soil analyses in the autumn of 1949 of the 0-K<sub>2</sub>O/ha and the 250 kg K<sub>2</sub>O/ha object of these fields.

(5) T.E.C. = totaal uitwisselbare kationen = Na-ionen geadsorbeerd door de grond bij percolatie met 0,5 N Na-acetaat (pH 7,6).  
 T.E.C. = total exchangeable cations = Na-ions adsorbed by the soil when percolated with 0,5 N Na-acetate.

(6) Uitwisselbare kationen = uitgewisseld door de grond bij percolatie met 0,5 N Na-acetaat.  
 Exchangeable cations = exchanged by the soil when percolated with 0,5 N Na-acetate.

TABEL 12.  $K_2O$  uitwisselbaar en  $K_2O$  oplosbaar in HCl in profielmonsters van het onbemeste- en het met kalium gefixeerd kali bepaald volgens de natte en de droge methode.

Omschrijving (description)	Onbemest (untreated) $K_2O$ in 0,001 %						Bemest (treated) $K_2O$ in 0,001 %					
	0-5	5-10	10-25	25-50	50-75	75-100	0-5	5-10	10-25	25-50	50-75	75-100
UITWISSELBAAR $K_2O$ IN OPEENVOLGENDE PERCOLATIES MET 0,5 N Mg-ACETAAT (exchangeable $K_2O$ in successive percolations with 0.5 N Mg-acetate)												
1ste (first) 250 cc	5	4	3	2	2	1	304	190	63	2	2	1
2de (second) 250 cc	3	1	1	1	1	1	31	23	14	1	1	1
3de (third) 250 cc	sp	sp	sp	sp	sp	sp	8	7	4	1	sp	sp
Totaal . . . . .	8	5	4	3	3	2	343	220	81	4	3	2
$K_2O$ OPLOSBAAR IN OPEENVOLGENDE PERCOLATIES MET HCl VAN DIVERSE STERKTE (acid soluble $K_2O$ in successive percolations with HCl of various strength)												
0,05 N HCl												
1ste (first) 250 cc	9	6	5	5	4	2	346	227	79	6	4	2
2de (second) 250 cc	8	5	4	4	4	2	24	22	15	5	4	2
3de (third) 250 cc	9	2	2	2	2	1	11	7	5	2	2	2
Totaal . . . . .	26	13	11	11	10	5	381	256	99	13	10	6
0,1 N HCl												
1ste (first) 250 cc	1	1	1	1	1	1	6	6	3	2	1	1
2de (second) 250 cc	1	1	1	1	1	1	6	5	4	2	1	1
3de (third) 250 cc	1	1	1	1	1	1	4	4	3	1	1	1
Totaal . . . . .	3	3	3	3	3	3	16	15	10	5	3	3
10 % HCl												
1ste (first) 250 cc	6	6	7	6	4	4	21	18	12	8	4	4
2de (second) 250 cc	6	6	6	6	4	4	16	15	13	9	4	4
3de (third) 250 cc	4	4	4	4	4	3	9	9	7	5	4	3
Totaal . . . . .	16	16	17	16	12	11	46	42	32	22	12	11
KALIFIXATIE (potassium fixation)												
	$K_2O$ gefixeerd (fixed) in %						$K_2O$ gefixeerd (fixed) in %					
natte methode . . . . . (wet method)	47	64	67	80	80	68	0	0	20	81	82	70
droge methode . . . . . (dry method)	81	81	85	85	87	85	63	71	76	86	87	85

TABLE 12.  $K_2O$  exchangeable and  $K_2O$  in HCl in profile sample of the untreated- and the  $K_2O$  treated object from experimental field „De Lange Ossekampen” (orchard) at Wageningen. Furthermore  $K_2O$  fixed after wet and dry method.

Het volume van de grond is gesteld op = 1,2.  
Volume of the soil is assumed to be = 1.2.

sp = sporen = traces

De totaal hoeveelheid toegevoegde  $K_2O$  in 16 jaren bedroeg = 8217 kg  $K_2O$ /ha, tegen jaarlijks gemiddeld = 456 kg  $K_2O$ /ha.

Total applied  $K_2O$  = 8217 kg  $K_2O$ /ha in 16 years = 456 kg  $K_2O$ /ha yearly as an average.

lium bemeste object van proefveld „De Lange Ossekampen” (boomgaard) te Wageningen. Verder de hoeveel-

Verschil bemest-onbemest (difference treated-untreated) K <sub>2</sub> O in 0,001 %						K <sub>2</sub> O in kg/ha						Monsters (samples) in cm
0-5	5-10	10-25	25-50	50-75	75-100	0-5	5-10	10-25	25-50	50-75	75-100	
299 28 8	186 22 7	60 13 4	0 0 1	0 0 0	0 0 0	1495 140 40	930 110 35	900 195 60	0 0 25	0 0 0	0 0 0	Σ = 3930
335	215	617	1	0	0	1675	1075	1155	25	0	0	
337 16 2	221 17 5	74 11 3	1 1 0	0 0 0	0 0 0	1685 80 10	1105 85 25	1110 165 45	25 25 0	0 0 0	0 0 0	
355	243	88	2	0	0	1775	1215	1320	50			Σ = 4360
5 5 3	5 4 3	2 3 2	1 1 0	0 0 0	0 0 0	25 25 15	25 20 15	30 45 30	25 25 0	0 0 0	0 0 0	
13	12	7	2	0	0	65	60	105	50	0	0	
15 10 5	12 9 5	5 7 3	2 3 1	0 0 0	0 0 0	75 50 25	60 45 25	50 105 45	50 75 25	0 0 0	0 0 0	Σ = 280
30	26	15	6	0	0	150	130	225	150	0	0	
												Σ = 655

Soort K <sub>2</sub> O waarmee de bemeste grond is verrijkt (kind of K <sub>2</sub> O by which the K-treated soil has enriched)		Diepte van de laag in cm (soil layer in cm)		
		0-25	25-100	0-100
K <sub>2</sub> O uitwisselbaar in kg/ha . . . . . A	3905	25	3930	
(K <sub>2</sub> O exchangeable in kg/ha)				
idem in % van totaal toegevoegde K <sub>2</sub> O in mest . . . . .	47,5	0,3	47,8	
(idem in per cent of total K <sub>2</sub> O applied)				
K <sub>2</sub> O in 0,05 N HCl + 0,1 N HCl in kg/ha . . . . . B	4540	100	4640	
(idem in per cent of total K <sub>2</sub> O applied)	55,3	1,2	56,5	
K <sub>2</sub> O in 0,05 N HCl + 0,1 N HCl + 10 per cent HCl in kg/ha . C	5045	250	5295	
(idem in per cent of total K <sub>2</sub> O applied)	61,4	3,0	64,4	
B-A in kg/ha . . . . .	635	75	710	
idem in % van totaal toegevoegde K <sub>2</sub> O in mest . . . . .	7,7	0,9	8,6	
(idem in per cent of total K <sub>2</sub> O applied)				
C-A in kg/ha . . . . .	1140	225	1365	
idem in % van totaal toegevoegde K <sub>2</sub> O in mest . . . . .	13,9	2,7	16,6	
(idem in per cent of total K <sub>2</sub> O applied)				